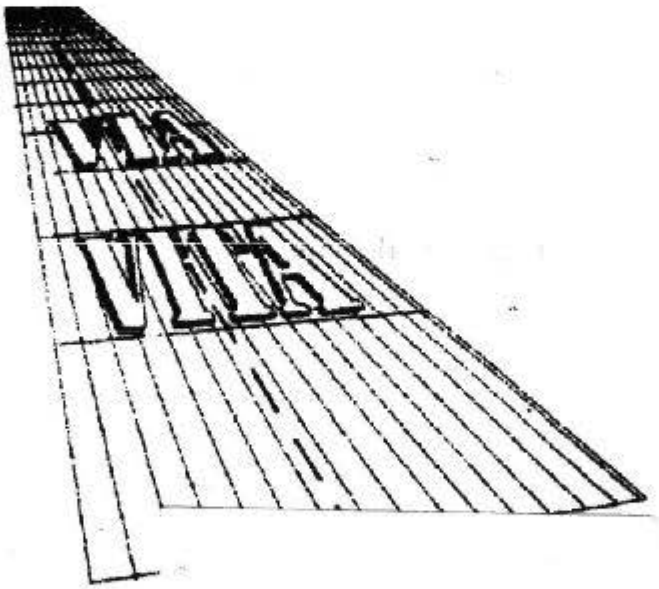
FLORIN BELC

CĂI DE COMUNICAȚIE TERESTRE. ELEMENTE DE PROIECTARE

Florin BELC

CĂI DE COMUNICAȚIE TERESTRE. ELEMENTE DE PROIECTARE



EDITURA ORIZONTURI UNIVERSITARE

TIMIȘOARA, 1999

Referent ştiinţific

Prof. dr. ing. Laurenţiu Nicoară

Consilier editorial

Ştefan Kilyeni

Tehnoredactare computerizată

Florin Belc

Materiale grafice

Suzana Imbăruş

Coperta

Mihaela Uliczai

© 1999 Editura ORIZONTURI UNIVERSITARE

Timişoara

PREFAȚĂ

Cu mare bucurie şi satisfacţie scriu prefaţa pentru a patra carte elaborată de domnul conferenţiar dr.ing. Florin BELC ce urmează a se publica în Editura Orizonturi Universitare Timişoara. Perseverenţa tânărului autor în desăvârşirea perfecţionării profesionale, printr-o activitate permanentă de cercetare, studiu şi colaborare cu instituţii specializate, oferă garanţia unor rezultate ce îi conferă cu certitudine un meritat prestigiu în rândurile comunităţii rutiere din ţara noastră.

Lucrarea: "Căi de comunicaţie terestre. Elemente de proiectare" este sistematizată pe 14 capitole şi cuprinde în esenţă principiile de bază necesare a fi însuşite de cei care doresc să lucreze în proiectarea drumurilor şi căilor ferate. După prezentarea unor date utile privind sistemul unitar de transport, inclusiv situaţia statistică a drumurilor şi căilor ferate de la noi din ţară şi din alte ţări, autorul abordează elementele geometrice caracteristice ale căilor de comunicaţie terestre şi, în scopul înţelegerii mai bine a acestora, tratează rezistenţele întâmpinate de vehicule în timpul deplasării. În mod inteligent, cu discernământ şi sintetic sunt expuse principiile fundamentale ce stau la baza proiectării şi amenajării curbelor, studierii vizibilităţii în situaţiile specifice, stabilirii liniei proiectului, proiectării profilurilor transversale pentru căi de comunicaţie terestre, dimensionării dispozitivelor de colectare şi evacuare a apelor, calculul terasamentelor etc.

Cartea este scrisă într-o succesiune logică şi riguroasă a problemelor prezentate, autorul utilizează o terminologie corectă şi concisă.

Felicit autorul pentru reuşită şi îi doresc din tot sufletul să aibă tăria şi voinţa de a continua cu elan în munca fără întrerupere de perfecţionare profesională şi comunicare a rezultatelor obţinute tuturor celor interesaţi.

Timişoara, august 1999

Prof.dr.ing. Laurenţiu NICOARĂ

Membru al Academiei de Ştiinţe Tehnice
din România

CUPRINS

PREFAȚĂ 3

1. SISTEMUL UNITAR DE TRANSPORT 11
   - 1.1. Generalități 11
   - 1.2. Sisteme de transport 12
     - 1.2.1. Transportul rutier 14
       - 1.2.1.1. Clasificarea drumurilor 14
       - 1.2.1.2. Situația drumurilor din România 18
       - 1.2.1.3. Strategia rutieră în perioada 1995-2005 21
     - 1.2.2. Transportul feroviar 26
       - 1.2.2.1. Clasificarea căilor ferate 26
       - 1.2.2.2. Situația căilor ferate din România 27
     - 1.2.3. Transportul aerian 28
     - 1.2.4. Transportul naval 29
   - 1.3. Sistemul unitar de transport 29

2. ELEMENTE CARACTERISTICE CĂILOR DE COMUNICAȚIE TERESTRE 31
   - 2.1. Infrastructura şi suprastructura 31
   - 2.2. Elemente caracteristice în plan 33
   - 2.3. Elemente caracteristice în profil longitudinal 34
   - 2.4. Elemente caracteristice în profil transversal 36

3. REZISTENȚE ÎNTÂMPINATE DE VEHICULE ÎN TIMPUL DEPLASĂRII 39
   - 3.1. Generalități 39
   - 3.2. Rezistențe în mişcarea în regim 40
     - 3.2.1. Rezistențe la rulare 40
     - 3.2.2. Rezistențe datorate traseului 43
   - 3.3. Rezistențe în mişcarea variată 46

3.3.1. Rezistențe în mișcarea accelerată 46
3.3.2. Rezistențe în mișcarea decelerată 47
3.4. Forța de tracțiune 48
4. CURBE CIRCULARE 49
4.1. Aliniamente și curbe 49
4.2. Razele curbelor circulare 51
4.3. Elementele principale ale curbelor circulare 54
4.4. Trasarea curbelor circulare 56
4.5. Racordări cu vârf inaccesibil 66
5. CURBE PROGRESIVE 71
5.1. Necesitatea introducerii curbelor progresive 71
5.2. Condiții impuse curbelor progresive 74
5.3. Tipuri de curbe progresive 77
5.4. Lungimea curbelor progresive 81
6. CLOTOIDA 85
6.1. Elemente de bază 85
6.2. Proprietățile clotoidei 89
6.3. Trasarea clotoidei 92
6.4. Tipuri de racordări cu clotoidă 93
6.5. Racordări cu arce de cerc cu raze diferite 101
7. SUPRAÎNĂLȚAREA ÎN CURBĂ 105
7.1. Supraînălțarea părții carosabile în curbă 105
7.1.1. Stabilitatea vehiculelor la derapaj și răsturnare. Supraînălțarea teoretică 105
7.1.2. Combaterea derapajului prin frecare și supraînălțare 108
7.1.3. Raze caracteristice 111
7.2. Supraînălțarea căii ferate în curbă 113
7.2.1. Necesitatea supraînălțării firului exterior în curbă . 113
7.2.2. Calculul supraînălțării 114
7.3. Rampa de racordare 117
7.3.1. Rampa de racordare la drumuri 118
7.3.2. Rampa supraînălțării la căi ferată 120
8. AMENAJAREA ÎN PLAN ȘI SPAȚIU A CURBELOR DE DRUMURI 123

8.1. Amenajarea curbelor izolate 124
8.2. Amenajarea curbelor succesive 126
9. VIZIBILITATEA ÎN PLAN 131
9.1. Vizibilitatea în aliniament 131
9.1.1. Distanța de vizibilitate pentru frânarea vehiculului 132
9.1.2. Distanța de vizibilitate pentru ocolire 134
9.1.3. Distanța de vizibilitate pentru depășire 136
9.2. Vizibilitatea în curbă 138
9.3. Vizibilitatea în intersecții de drumuri 141
9.4. Vizibilitatea în plan în timpul nopții 143
9.5. Treceri de nivel cu calea ferată 144
9.6. Definitivarea planului de situație 145
10. PROFILUL LONGITUDINAL 147
10.1. Generalități 147
10.2. Criterii pentru proiectarea liniei roșii 150
10.3. Racordarea declivităților 155
10.3.1. Calculul racordării verticale 155
10.3.2. Criterii pentru stabilirea razei racordării verticale .. 157
11. PROFILUL TRANSVERSAL 163
11.1. Profilul transversal al drumurilor publice 164
11.1.1. Elementele profilului transversal al drumurilor 164
11.1.2. Lățimea părții carosabile 169
11.1.3. Supralărgirea părții carosabile în curbă 172
11.1.4. Profilul transversal tip 175
11.2. Profilul transversal al autostrăzilor 179
11.2.1. Elemente caracteristice ale autostrăzilor 179
11.2.2. Elementele profilului transversal al autostrăzilor ... 182
11.3. Profilul transversal al străzilor 184
11.3.1. Particularități ale proiectării străzilor 184
11.3.2. Elementele profilului transversal al străzilor 186
11.4. Profilul transversal al căilor ferate 190
12. DIMENSIONAREA DISPOZITIVELOR DE COLECTARE ŞI EVACUARE A APELOR 193
12.1. Dimensionarea dispozitivelor de colectare şi evacuare a apelor de suprafață 193

12.2. Dimensionarea dispozitivelor de colectare
şi evacuare a apelor subterane 198
12.2.1. Clasificarea drenurilor 198
12.2.2. Calculul drenurilor 201
13. CALCULUL TERASAMENTELOR 209
13.1. Calculul suprafeţei amprizei şi a taluzurilor 209
13.2. Calculul suprafeţei profilurilor transversale 214
13.3. Calculul volumelor de terasamente 217
13.4. Mişcarea terasamentelor 219
14. STUDIUL TRASEULUI 221
14.1. Considerente economice 222
14.2. Considerente tehnice naturale 222
14.2.1. Relieful 223
14.2.2. Condiţii hidrologice 227
14.2.3. Condiţii geologice şi geotehnice 228
14.2.4. Condiţii climaterice 228
14.3. Studiul traseului pe hartă şi compararea variantelor 229
BIBLIOGRAFIE 231
ANEXA 1 233
ANEXA 2 242

1. SISTEMUL UNITAR DE TRANSPORT

Calea de acces (terestră, navală, aeriană) este unul din factorii esenţiali ai civilizaţiei, fără de care existenţa omului, ca fiinţă socială şi culturală, este de neconceput. În acelaşi timp, natura firii omeneşti şi natura relaţiilor dinlăuntrul unei colectivităţi, precum şi dezvoltarea economică şi social-politică a societăţii respective, sunt ilustrate fidel de natura şi starea căilor de comunicaţie disponibile.

În aceste condiţii, corelarea avantajelor pe care le oferă diferitele sisteme de transport ale unei colectivităţi, în scopul sporirii eficienţei transporturilor de mărfuri şi călători, se face în cadrul sistemului unitar de transport.

1.1. Generalităţi

Un domeniu important al activităţii economico-sociale îl reprezintă transporturile, deoarece prin intermediul acestora se efectuează deplasările în spaţiu ale bunurilor şi oamenilor, în scopul satisfacerii necesităţilor materiale şi spirituale ale societăţii umane. Activitatea de transport a apărut o dată cu societatea umană şi s-a dezvoltat şi diversificat în cadrul acesteia de-a lungul diferitelor formaţiuni social-economice. În epoca modernă, transporturilor le revine sarcina de a efectua legătura dintre principalele domenii ale producţiei materiale: industria extractivă, agricultura şi industria producătoare şi de a satisface nevoile de transport ale populaţiei.

Trăsătura caracteristică a activităţii de transport constă în faptul că nu creează produse noi, ci numai participă la producţia materială (mai exact, asigură una din condiţiile absolut necesare acesteia). Datorită acestui fapt, transporturile adaugă cheltuieli în plus, adică scumpesc produsul. Acest lucru îi face pe economişti să numească transporturile ca un " rău necesar ". Un rău, fiindcă transporturile scumpesc mărfurile, dar necesar, fiindcă fără ele producţia materială nu se poate realiza.

Procesul de transport trebuie să se desfăşoare cu îndeplinirea unor condiţii impuse, în aşa fel stabilite încât cerinţele economiei naţionale şi ale populaţiei să fie satisfăcute, atât cantitativ cât şi calitativ. Condiţiile generale şi specifice care se impun transporturilor sunt următoarele:

- **siguranţa circulaţiei (navigaţiei sau zborului)** constituie condiţia fundamentală a transporturilor, potrivit căreia toate mijloacele şi instalaţiile de transport trebuie să funcţioneze neîntrerupt şi în perfecte condiţii, evitând în totalitate accidentarea călătorilor şi personalului, distrugerea mărfurilor, avarierea sau distrugerea mijloacelor şi instalaţiilor de transport;
- **ritmicitatea transporturior**, cerinţă care constă în repetarea regulată, pe o perioadă dată de timp, a aceluiaşi serviciu;
- **cheltuieli minime de transport** în vederea sporirii eficienţei economice a producţiei materiale;
- **durata cât mai redusă a transportului** în scopul creşterii eficienţei economice a acestora, precum şi pentru limitarea timpului cât mărfurile sunt scoase din sfera producţiei şi creşterea timpului acordat odihnei şi agrementului în bugetul de timp al populaţiei;
- **confortul călătoriei** care constituie o condiţie specifică transportului de călători. Asigurarea confortului se efectuează prin acţiuni specifice asupra căii de transport (drum, cale ferată etc.), cât şi asupra mijloacelor de transport (autovehicul, vagon, navă, aeronavă etc.);
- **integritatea cantitativă şi calitativă a mărfurilor** care implică păstrarea proprietăţilor fizico-chimice ale mărfurilor pe durata transportului;
- **reducerea poluării mediului înconjurător** se referă la producerea zgomotelor, eşaparea în atmosferă de gaze nocive şi deversarea în râuri, fluvii şi mări a apelor murdare, uleiurilor etc.

Orice abatere de la cerinţele calitative ale transporturilor trebuie tratată ca deficienţă care reduce eficienţa tehnică, economică şi socială a activităţii de transport.

1.2. Sisteme de transport

Efectuarea procesului de transport impune în general trei factori şi anume:
- mijlocul de transport (vehiculul) care poartă obiectul de transportat;
- energia necesară punerii în mişcare a mijlocului de transport;
- calea pe care se deplasează mijlocul de transport (calea de comunicaţie).

Totalitatea mijloacelor şi instalaţiilor de transport grupate după un anumit criteriu: tehnic, teritorial, organizatoric sau după obiectul transportului formează un **sistem de transport**.

Din punct de vedere al criteriului tehnic se deosebesc următoarele sisteme de transport:

- **rutier** la care componentele principale sunt autovehiculul şi drumul;

- **feroviar** la care componentele principale sunt linia ferată propriu-zisă, materialul rulant, staţiile şi triajele;

- **naval** la care componentele principale sunt calea de navigaţie (naturală sau amenajată), navele şi porturile;

- **aerian** cu componentele principale aeronavale şi aeroporturile;

- **prin conducte** la care elementele fundamentale sunt conductele şi staţiile de pompare.

Prin sistemul de transport teritorial se înţelege totalitatea mijloacelor şi instalaţiilor de transport care sunt amplasate pe un anumit teritoriu. După acest criteriu se deosebesc:

- sistemul de transport uzinal;
- sistemul de transport urban;
- sistemul de transport interurban;
- sistemul de transport naţional;
- sistemul de transport internaţional, care la rândul lui poate fi continental sau intercontinental.

Sub aspect organizatoric, transporturile pot fi directe sau combinate. Transporturile directe sunt acelea în care marfa este transportată folosind acelaşi mijloc de transport din incinta producătorului în incinta consumatorului. Transporturile combinate sunt acelea în care marfa, pe parcursul ei de la livrare la destinaţie, este transbordată dintr-un mijloc de transport în altul (sau altele).

După obiectul transportului se disting sistemul de transport pentru persoane, sistemul de transport pentru mărfuri şi sistemul de transport mixt.

Pe lângă sistemele de transport convenţionale (clasice) se extind din ce în ce mai mult sisteme noi de transport, denumite neconvenţionale.

Sistemele de transport neconvenţionale sunt sistemele care recurg, într-o formă sau alta, la alte tehnici de construcţie sau propulsie decât cele folosite în prezent la sistemele de transport convenţionale. În cadrul sistemelor de transport neconventionale se deosebesc:

- funiculare şi teleferice;
- căi ferate cu o singură şină (monorai);
- căi ferate cu cremalieră;
- căi ferate cu motoare electrice liniare;
- căi ferate cu vehicule pe pernă de aer;
- căi ferate cu vehicule pe pernă magnetică.

Sistemele de transport se deosebesc între ele prin foarte multe caracteristici, ca de exemplu: constructiv, capacitate de transport, viteză, consum de combustibil, cost unitar de transport etc. Se va insista în cele ce urmează asupra particularităţilor fiecărui sistem tehnic de transport naţional, şi în special asupra căilor de comunicaţie terestre din ţara noastră.

1.2.1. Transportul rutier

Elementele componente ale sistemului sunt autovehiculul şi drumul. În continuare se vor trata unele aspecte legate de elementul "drum" din cadrul sistemului de transport rutier, cu referire la situaţia drumurilor din ţara noastră şi la perspectivele dezvoltării ei în anii următori.

1.2.1.1. Clasificarea drumurilor

Drumurile sunt căi de comunicaţie terestre, altele decât căile ferate, special amenajate pentru circulaţia vehiculelor şi a pietonilor.

Fac parte integrantă din drum: podurile, viaductele, pasajele denivelate, tunelurile, construcţiile de apărare şi consolidare, trotuarele, locurile de parcare şi staţionare, plantaţiile, indicatoarele şi instalaţiile pentru circulaţie, cantoanele şi clădirile de serviciu, precum şi orice alte construcţii, amenajări sau instalaţii destinate apărării sau exploatării drumului.

Clasificarea drumurilor în România este reglementată funcţie de mai multe criterii, în felul următor:

a. Din punct de vedere al folosirii şi administrării, drumurile se împart în:

- **drumuri publice** care sunt destinate satisfacerii cerinţelor de transport rutier ale întregii economii naţionale şi ale populaţiei, iar gospodărirea lor intră în sarcina organelor centrale sau locale ale administraţiei de stat;
- **drumuri de exploatare** care sunt destinate satisfacerii nevoilor proprii de transport ale unor unităţi economice şi care sunt gospodărite de unităţile ce le au în administraţie.

b. Din punct de vedere funcţional şi administrativ drumurile publice şi de exploatare se împart, în ordinea importanţei, astfel:

- **drumuri publice de interes republican** care asigură legătura între capitala ţării şi municipiile sau oraşele reşedinţe de judeţ şi cu alte localităţi importante, precum şi cu ţările vecine. Din această categorie fac parte următoarele căi rutiere:

• **autostrăzile**, care sunt drumuri naţionale de mare capacitate şi viteză, rezervate exclusiv circulaţiei autovehiculelor şi care nu servesc proprietăţi riverane. Autostrăzile au două căi unidirecţionale separate printr-o zonă mediană, fiecare dintre acestea având cel puţin două benzi de circulaţie pe sens şi bandă de staţionare accidentală în dreapta părţii carosabile. Intersecţiile cu alte căi de comunicaţie terestre sunt denivelate, intrarea şi ieşirea de pe autostradă fiind permise doar în locuri special amenajate numite noduri de circulaţie;

• **drumurile expres**, care sunt drumuri naţionale cu două benzi de circulaţie pe sens, accesibile numai prin noduri de circulaţie sau intersecţii sistematizate. Pe drumurile expres se poate interzice accesul unor anumite categorii de vehicule, iar oprirea şi staţionarea pe partea carosabilă nu sunt permise pentru a se asigura fluenţa circulaţiei rutiere;

• **drumurile naţionale europene**, care sunt drumuri naţionale deschise traficului internaţional, a căror încadrare se stabileşte în conformitate cu prevederile Acordului european privind marile drumuri cu trafic internaţional (AGR);

• **drumurile naţionale principale**, care asigură legătura capitalei ţării cu oraşele reşedinţă de judeţ, legăturile dintre acestea, precum şi principalele puncte de control pentru trecerea frontierei de stat a României;

• **drumurile naţionale secundare**, care cuprind celelalte drumuri naţionale neincluse în categoriile anterioare.

Fiecare drum naţional are un număr, notându-se prescurtat DN urmat de un număr de ordine (de exemplu: DN 6). Drumurile europene se recunosc după sigla E, urmată de numărul de ordine din cadrul reţelei europene (de exemplu E 76).

Drumurile publice de interes republican sunt în administrarea Ministerului Transporturilor, prin Administraţia Naţională a Drumurilor, care are în subordine şapte Direcţii Regionale de Drumuri şi Poduri cu sediile la Bucureşti, Braşov, Cluj Napoca, Constanţa, Craiova, Iaşi şi Timişoara;

- **drumuri publice de interes local,** care asigură legăturile rutiere între oraşele, comunele şi satele din cuprinsul unui judeţ sau cu localităţile din judeţele învecinate, precum şi cu gările, porturile, aeroporturile, staţiunile balneoclimaterice şi locurile de agrement situate în afara localităţilor. În această categorie sunt cuprinse următoarele căi rutiere:

• **drumurile judeţene (DJ)**, care sunt drumuri publice de interes local, construite, administrate şi întreţinute de Consiliile Judeţene prin unităţi specifice denumite de regulă Direcţii de urbanism, amenajarea teritoriului şi lucrări publice;

• **drumurile comunale (DC)**, care sunt drumuri publice de interes local, construite, administrate şi întreţinute de primăriile din zona aferentă;

• **drumurile vicinale**, care servesc, în general, interesele mai multor proprietăţi, fiind situate la limitele acestora;

- **străzi**, care sunt drumuri publice situate în interiorul localităţilor şi care sunt întreţinute şi administrate de Consiliile municipale, orăşeneşti sau comunale.

La racordarea drumurilor publice din afara localităţilor cu cele din interiorul localităţilor trebuie aplicat principiul conform căruia drumurile publice din afara localităţilor se vor continua în localităţi cu drumuri de acelaşi rang sau de rang superior.

- **drumurile de exploatare**, care sunt căi rutiere construite sau numai amenajate pentru a servi unul din următoarele obiective:

• gospodărirea fondului forestier şi transportului materialului lemnos (drumuri forestiere);

• asigurarea accesului la exploatările zăcămintelor de substanţe minerale (drumuri miniere);

• exploatatarea şi întreţinerea sistemelor de hidroameliorații şi irigaţii şi a culturilor agricole (drumuri agricole);

• asigurarea legăturii de la obiectivele industriale la drumurile publice (drumuri industriale).

Modul de organizare administrativă a drumurilor publice din România, funcţie de categorie şi de unitatea administrativă, este prezentat în fig. 1.1.

Dintre unităţile care administrează drumuri publice în România, în fig. 1.2 este prezentată organigrama Administraţiei Naţionale a Drumurilor (AND) Bucureşti.

c. Din punct de vedere al reliefului zonei geografice în care este situat drumul se deosebesc:

- **drumuri de şes** situate în zone cu altitudinea până la 150 m;
- **drumuri de deal** situate în zone cu altitudinea cuprinsă între 150...300 m;
- **drumuri de munte** situate în zone cu altitudinea de peste 300 m;

d. Din punct de vedere al gradului de perfecţionare tehnică a suprafeţei de rulare se disting următoarele categorii:

- **drumuri din pământ**;
- **drumuri pietruite**;
- **drumuri cu îmbrăcăminţi moderne**.

Drumurile cu îmbrăcăminţi moderne la rândul lor, în funcţie de tehnologia folosită pentru executarea îmbrăcămintei şi de gradul de perfecţionare tehnică a acesteia, se clasifică în felul următor:

- **drumuri cu îmbrăcăminţi bituminoase**;
- **drumuri cu îmbrăcăminţi din beton de ciment**;
- **drumuri cu îmbrăcăminţi din piatră fasonată (pavaje)**.

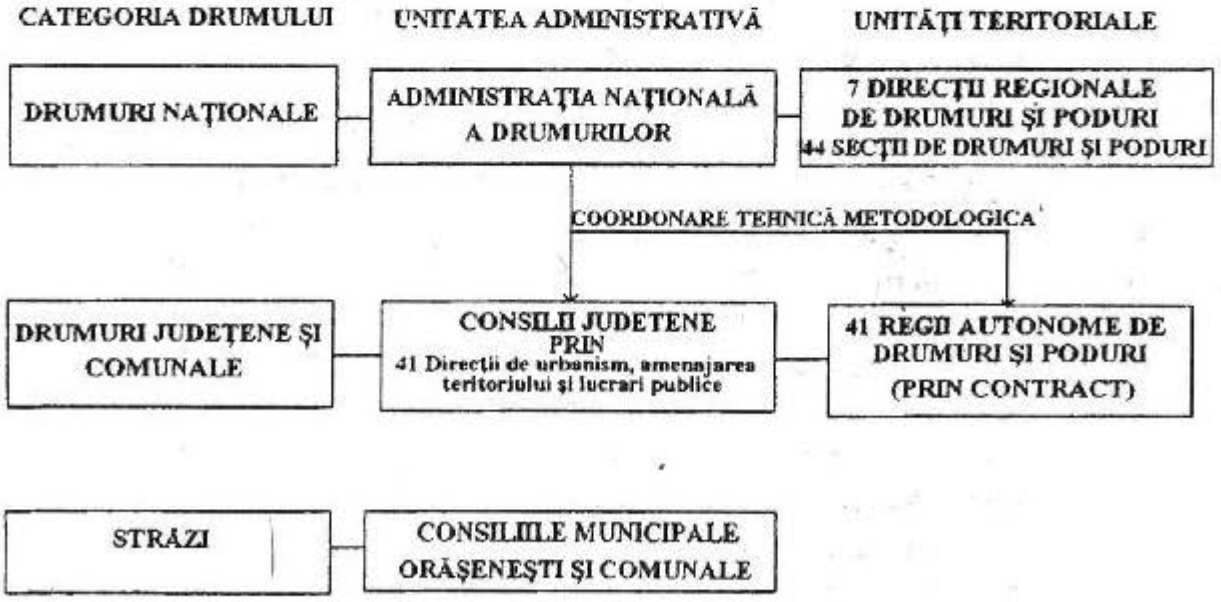
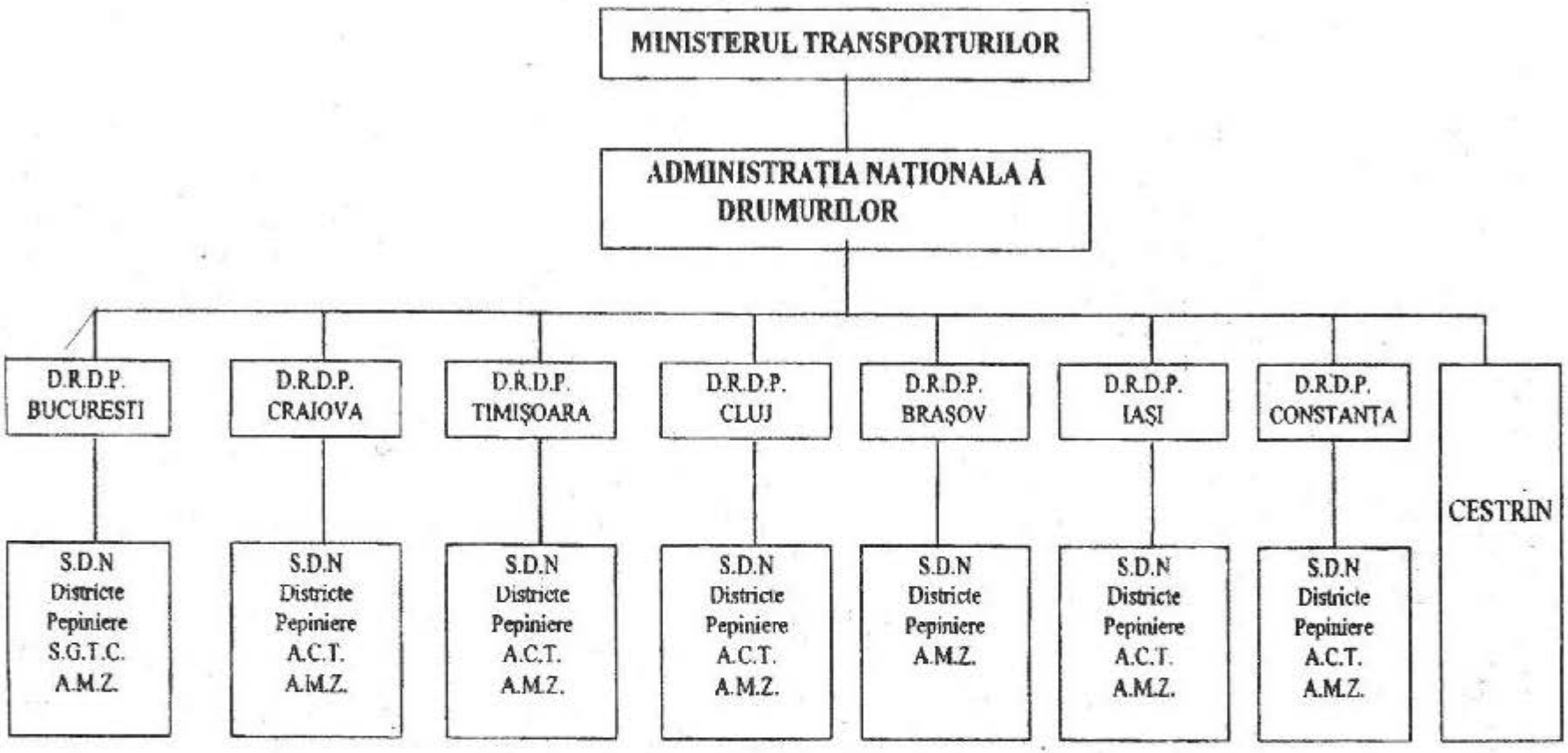


Fig. 1.1. Organizarea administrării drumurilor publice din România.



D.R.D.P. - Direcţia regională de drumuri şi poduri
S.D.N. - Secţie de drumuri naţionale
S.C.T.G. - Secţie de control taxare Giurgiu
A.C.T. - Agenţie de control taxare
A.M.Z. - Ateliere mecanice de zonă
CESTRIN - Centrul de Studii Tehnice Rutiere şi Informatică

Fig. 1.2. Organizarea Administraţiei Naţionale a Drumurilor.

e. Din punct de vedere al importanței și intensității traficului de perspectivă se face clasificarea tehnică a drumurilor, funcție de traficul actual și de perspectivă, conform tabelului 1.1.

Clasa tehnică este independentă de încadrarea drumului în categoriile funcționale și administrative. Clasa tehnică servește la clasificarea rețelei de drumuri publice actuale în vederea planificării și proiectării lucrărilor de modernizare și ranforsare, precum și pentru a construcțiilor noi.

Intensitatea traficului de perspectivă se calculează pentru o perioadă de perspectivă de 15 ani de la execuția lucrării, pe baza datelor de trafic obținute la ultimul recensământ și, după caz, cu anchete de tip origine-destinație. La aceste date se aplică coeficienții de evoluție a traficului de perspectivă, pe categorii de vehicule, stabiliți prin interpretarea statistică a datelor specifice de dezvoltare socio-economică a țării și/sau a zonei traversate de drum.

Clasa tehnică este dată de intensitatea traficului corespunzătoare coloanelor 2...5 din tabelul 1.1. In cazul în care rezultă clase tehnice diferite, încadrarea drumului se face pe baza unei analize aprofundate, ținându-se seama de intensitatea orară de calcul în vehicule etalon (coloana 4).

Vehiculul etalon de calcul al intensității traficului este autoturismul. Echivalarea numărului de vehicule fizice în vehicule etalon (autoturisme) se face prin multiplicarea numărului de vehicule fizice de perspectivă din fiecare categorie cu un anumit coeficient de echivalare, corespunzător după normele în vigoare categoriei respective.

Intensitatea orară de calcul este traficul orar care în cursul unui an este depășit timp de 50 ore (intensitatea celei de a 50-a oră).

Pentru drumurile publice încadrate în clasa tehnică V, se poate prevedea o singură bandă de circulație, cu condiția asigurării unor platforme de încrucișare cu o lungime care să asigure vizibilitatea la întâlnire cu vehiculele din sens opus, dar nu mai mare de 250...300 m.

1.2.1.2. Situația drumurilor din România

Rețeaua rutieră publică din România are o lungime de 153 057 km. Structura rețelei de drumuri publice și starea tehnică a acesteia, la data de 1 ianuarie 1999, este prezentată în tabelul 1.2.

Referitor la rețeaua de autostrăzi, România, cu cei 113 km lungime, se situează pe locul 24 în Europa. În etapa actuală există întocmit Programul de construcție a autostrăzilor din România, potrivit căruia rețeaua de autostrăzi din țara noastră va avea o lungime de cca 3 000 km. În strategia pe termen scurt a programului se vor construi tronsoanele de autostradă București - Constanța, București - Giurgiu și centura București-Sud. Potrivit strategiei pe termen mediu se vor executa sectoarele de autostradă Pitești - Nădlac, centura municipiului București și sectorul de autostradă București - Brașov.

Tabelul 1.1.

Clasa tehnică a drumului public	Denumirea intensității traficului	Caracteristicile traficului:				Tipul drumului recomandat
		Intensitatea medie zilnică anuală		Intensitatea orară de calcul		
		Exprimată în număr de vehicule				
		Etalon (autoturisme)	Efective (fizice)	Etalon (autoturisme)	Efective (fizice)	
0	1	2	3	4	5	6
I	Foarte intens	> 21 000	> 16 000	> 3 000	> 2 200	Autostrăzi
II	Intens	11 001...21 000	8 001...16 000	1 401...3 000	1 001...2 200	Drumuri cu patru benzi de circulație
III	Mediu	4 501...11 000	3 501...8 000	551...1 400	401...1 000	Drumuri cu două benzi de circulație
IV	Redus	1 000...4 500	750...3 500	100...550	75...400	Drumuri cu două benzi de circulație
V	Foarte redus	< 1 000	< 750	< 100	< 75	Drumuri cu două benzi de circulație

Tabelul 1.2.

Nr. crt.	Specificaţia	Total, km	din care:								Drumuri cu durata de exploatare expirată:			
			Drumuri modernizate		Drumuri cu îmbrăcăminţi bituminoase uşoare		Drumuri pietruite		Drumuri de pământ		Total (din coloanele 3 + 5)		Modernizate (din coloana 3)	
			km	%	km	%	km	%	km	%	km	%	km	%
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1.	Total drumuri	73 161	17814	24,4	20784	28,4	25645	35,0	8918	12,2	27571	71,4	11010	61,8
1.1.	Drumuri naţionale, din care:	14 683	13323	90,7	1164	8,00	196	1,3	0	0	9766	67,4	8618	64,7
	Autostrăzi	113	113	100	0	0	0	0	0	0	60	60,0	60	60,0
	Restul drumurilor naţionale	14 573	13210	90,7	1164	8,0	196	1,3	0	0	9706	60,0	7958	60,2
1.2.	Drumuri locale, din care:	58 478	4491	7,7	19620	33,6	25449	43,5	8919	15,2	17805	67,5	2392	53,2
	Drumuri judeţene	27 493	3537	12,9	15091	54,9	7564	27,5	1301	4,7	14038	75,0	1937	54,7
	Drumuri comunale	30 945	954	3,0	4529	14,6	17785	57,8	7617	24,6	3767	68,7	455	47,7

Lungimea totală a drumurilor naționale este de 14 683 km, deci cca 20 % din lungimea drumurilor publice, exclusiv străzile. Cu toate acestea pe rețeaua drumurilor naționale se desfășoară cca 65 % din totalul traficului rutier. Este de reținut faptul că cca 74 % (10 705 km) din rețeaua drumurilor naționale au durata de exploatare depășită, prezentând o stare necorespunzătoare.

Din totalul rețelei de drumuri publice a României, 68,2 % (10 022 km) sunt categorisite ca drumuri principale, din care 4 672 km (31,8 %) reprezintă rețeaua drumurilor europene. De asemenea, pe rețeaua de drumuri naționale există peste 400 intersecții la nivel cu calea ferată, producându-se astfel cca 29 000 de închideri zilnice de barieră, care totalizează peste 4 800 ore staționare/zi. Aceste staționări conduc în final la consumuri suplimentare de carburanți și lubrifianți evaluate la cca 100 000 tcc/an.

Rețeaua drumurilor locale (județene și comunale) este de 58 176 km, din care peste 70 % au durata de exploatare depășită.

Situația podurilor existente pe rețeaua drumurilor naționale este prezentată în tabelul 1.3, iar a celor existente pe rețeaua drumurilor locale în tabelul 1.4. Pe drumurile naționale, din totalul de 3 189 buc cu 132 864 m lungime, numai 1 522 buc (80 446 m) sunt dimensionate corespunzător normelor europene (clasa E de încărcare).

Conform Anuarului statistic al Federației Internaționale de Drumuri (International Road Federation - I.R.F., Geneva, 1996) situația comparativă a rețelei de drumuri din unele țări europene este prezentată în tabelul 1.5, iar situația statistică privind lungimea drumurilor publice raportată la 1 000 locuitori este reprodusă în tabelul 1.6.

1.2.1.3. Strategia rutieră în perioada 1995 - 2005

Principalele obiective ale politicii rutiere în perioada 1995-2005 sunt următoarele:

- creșterea volumului lucrărilor de întreținere, ranforsare, modernizare și reabilitare, astfel încât întreaga rețea de drumuri europene și naționale principale (cca 8 200 km) să fie adusă la nivelul standardelor europene, iar restul rețelei de drumuri naționale (cca 6 400 km) și principalele drumuri locale (cca 25 000 km) în stare tehnică bună;
- dezvoltarea etapizată a rețelei de autostrăzi și drumuri expres, corelată cu programele europene de autostrăzi;
- finalizarea modernizării drumurilor naționale pietruite, realizarea de variante ocolitoare în zona principalelor localități și alte lucrări destinate sporirii capacității de circulație la intrările și ieșirile din principalele centre urbane ale țării noastre;
- executarea de îmbrăcăminți bituminoase pe drumurile care fac legătura între centrele de comună (cca 2 000 km);

Tabelul 1.3.

Poduri pe reţeaua de drumuri naţionale	Clasa de încărcare				Lăţimea părţii carosabile				Poduri din beton armat şi zidărie de piatră		Poduri din beton precomprimat		Poduri din metal		Total general	
	E (A 30; V 80)		I (A 13; S 60)		> 7 m		< 7 m									
	buc.	m	buc.	M	buc.	m	buc.	m	buc.	m	buc.	m	buc.	m	buc.	m
D. E.	513	32250	920	19502	1102	49644	31	2109	802	21970	302	24476	29	5307	1133	51753
D. N.	1009	48196	1047	32870	1860	71779	196	9332	1134	32306	870	41258	52	7547	2036	81111
Total	1522	80446	1667	52372	2962	121423	227	11441	1936	54276	1172	65734	81	12854	3189	132864

Tabelul 1.4.

Poduri pe reţeaua de drumuri locale	Total		Clasa (E + I)		Sub clasa I		Poduri din lemn	
	buc.	M	buc.	M	buc.	m	buc.	m
Pe drumuri judeţene	4700	113515	3841	100133	859	13382	182	3463
Pe drumuri comunale	3492	76954	2183	52135	1309	24819	713	16385
Total	8192	190469	6024	152268	2168	38201	895	19848

Tabelul 1.5.

Țara	Suprafața, km^2	Lungimea drumurilor publice:				Total	Densitatea drumurilor, km/km^2	Îmbrăcăminți moderne, %
		Autostrăzi, km	Drumuri naționale, km	Drumuri regionale, km	Alte drumuri, km			
ANGLIA	229 968	3 270	15 400	36 200	317 000	327 000	1,61	100
AUSTRIA	83 850	1 607	9 668	19 780	98 000	129 000	1,54	100
BELGIA	30 519	1 674	12 600	13 360	122 000	149 634	4,91	94,00
BULGARIA	110 912	314	3 075	10 055	23 276	36 720	0,33	91,60
DANEMARCA	43 076	880	3 690	7 090	60 000	71 600	1,67	100
ELVEȚIA	41 268	1 594	18 326	51 197	-	71 117	1,70	100
FINLANDA	336 145	431	12 338	29 073	35 939	77 782	0,23	61,00
FRANȚA	551 000	9 500	28 000	355 000	500 000	892 500	1,62	100
GERMANIA	248 694	11 300	41 600	75 800	505 000	633 000	1,77	99,00
GRECIA	131 990	470	9 100	31 300	75 600	117 000	0,89	79,00
ITALIA	301 277	7 500	46 900	118 000	142 000	317 000	1,04	100
LUXEMBURG	2 586	115	833	1 897	2 316	5 160	2,00	99,00
NORVEGIA	323 886	106	26 539	27 118	37 666	91 323	0,28	69,00
OLANDA	41 160	2 360	2 120	8 580	114 000	127 000	2,94	88,00
POLONIA	312 683	258	45 417	128 684	200 631	374 990	1,20	61,60
ROMÂNIA	237 500	113	14 683	58 176	80 198	153 057	0,64	30,85
SUEDIA	411 114	1 330	14 700	83 300	38 500	138 000	0,34	71,00
UNGARIA	93 030	420	29 653	52 683	52 919	158 633	1,71	50,80

Tabelul 1.6.

Nr. crt.	Țara	Populația, mii locuitori	Lungimea drumurilor publice:			
			km	km raportați la 1 000 locuitori	din care modernizate:	
					km	km raportați la 1 000 locuitori
1.	ANGLIA	57 000	327 000	5,73	327 000	5,73
2.	AUSTRIA	8 054	129 055	16,02	129 000	16,01
3.	BELGIA	10 143	149 876	15,07	140 656	13,87
4.	BULGARIA	8 340	36 720	4,40	33 635	4,03
5.	DANEMARCA	5 280	71 600	13,56	71 600	13,56
6.	ELVEȚIA	7 073	71 117	10,05	71 117	10,06
7.	FINLANDA	5 132	77 782	15,15	47 447	9,25
8.	FRANȚA	58 100	892 500	15,36	892 500	15,36
9.	GERMANIA	82 186	633 000	7,70	626 670	7,63
10.	GRECIA	10 475	117 000	11,16	92 430	8,82
11.	ITALIA	58 000	317 000	5,46	317 000	5,46
12.	LUXEMBURG	413	5 160	12,52	5 108	12,37
13.	NORVEGIA	43 292	91 323	20,79	63 012	14,60
14.	OLANDA	15 680	127 000	8,09	111 760	7,13
15.	POLONIA	38 639	374 990	9,70	230 994	5,98
16.	ROMÂNIA	22 681	153 057	6,74	46 242	2,03
17.	SUEDIA	8 910	138 000	15,48	97 980	11,00
18.	UNGARIA	10 188	158 633	15,57	80 585	7,91

- îmbunătățirea stării tehnice a restului rețelei de drumuri locale, prin pietruirea drumurilor din pământ (cca 8 000 km), înlocuirea podurilor de lemn cu poduri din beton, îmbunătățirea siguranței circulației etc.;

- îmbunătățirea treptată a stării tehnice a celor cca 280 000 km de drumuri neclasificate din țara noastră;

- creşterea capacității portante a complexelor rutiere de pe drumurile europene astfel încât să se permită circulația în condiții bune a vehiculelor grele cu sarcina pe osia simplă de 115 kN.

În perioada 1993...1998 s-a derulat prima etapă de reabilitare a drumurilor naționale (958 km). Costul lucrărilor a fost de 450 mil. $, din care contribuția Guvernului României a fost de 125 mil. $. Cofinanțarea a fost efectuată de Banca Mondială (BIRD - 7 contracte de reabilitare), Banca Europeană pentru Reconstrucție şi Dezvoltare (BERD - 4 contracte de reabilitare) şi Banca Europeană de Investiții (BEI - 4 contracte de reabilitare). Lucrările de reabilitare au fost încredințate prin licitații internaționale unor companii românești şi străine.

În cadrul programului de reabilitare a drumurilor naționale, etapa I, principalele cantități de lucrări executate au fost următoarele:

- mixturi axfaltice: 2 600 000 t;
- consolidări poduri: 8 200 m (229 buc.);
- poduri noi: 1 000 m (4 buc.).

Prin realizarea lucrărilor de reabilitare s-a urmărit îmbunătățirea infrastructurii pentru transporturile rutiere şi a condițiilor de trafic, conform normelor europene, prin: creşterea capacității portante pentru a se trece de la o sarcină pe osie de 100 kN la o sarcină de 115 kN, încadrarea podurilor în calasa E de încărcare, îmbunătățirea elementelor geometrice, construirea benzilor suplimentare pentru traficul lent pe unele sectoare în rampă etc.

Etapa a II-a de reabilitare a drumurilor naționale se estimează că se va încheia în anul 2 000. In această etapă au fost alocate fonduri în valoare de 548 mil. $, din care 335 mil. $ reprezintă împrumuturi de la Instituțiile Financiare Iternaționale (BERD, BIRD şi BEI), iar 213 mil. $ reprezintă contribuția Guvernului României. Împrumuturile sunt efective din anul 1997, perioada de grație fiind de 5 ani. In cadrul acestei etape se preconizează că se vor reabilita 1 004 km de drumuri naționale şi 102 buc. Poduri.

Programul de reabilitare a drumurilor naționale, etapa a III-a, începe în anul 1999 şi cuprinde lucrări pe 334 km, cu finanțare BEI, în valoare de 225 mil. ECU şi 275 km, cu finanțare PHARE, în valoare de 150 mil ECU.

Programul de reabilitare a drumurilor naționale deschise traficului internațional (drumuri E) se preconizează să se încheie în anul 2 006. De asemenea, sunt începute studiile privind desfăşurarea etapei a IV-a de reabilitare a drumurilor naționale (cca 2 400 km).

1.2.2. Transportul feroviar

Din elementele componente ale sistemului de transport feroviar în cadrul acestei lucrări, prezintă interes calea de comunicație în care sunt incluse stațiile și triajele.

1.2.2.1. Clasificarea căilor ferate

Căile ferate sunt căi de comunicație terestră, amenajate special pentru anumite mijloace de transport, speciale și ele, adică locomotivele și vagoanele, cunoscute sub denumirea generală de "material rulant", circulația efectuându-se dirijat, nestingherit cu viteze mari și siguranță sporită.

Liniile de cale ferată se clasifică după anumite criterii, și anume:

a. După destinație și mod de administrare căile ferate pot fi publice sau particulare.

Căile ferate publice deschise spre folosire tuturor cetățenilor țării și administrate de Departamentul Căilor Ferate din Ministerul Transporturilor, se clasifică la rândul lor după importanță în:

- **căi ferate principale**, care leagă centrele importante din punct de vedere economic, administrativ, cultural, politic etc. Căile ferate principale cuprind pe teritoriul țării două inele, 8 magistrale și 7 radiale pe sectoarele cuprinse între inele;
- **căi ferate secundare**, care leagă căile ferate principale cu regiuni importante ale țării;
- **căi ferate de interes local**, care servesc interesele unei regiuni restrânse.

Căile ferate de interes particular servesc numai anumite ministere, societăți sau instituții și pot fi căi ferate industriale, forestiere, linii de garaj pentru diferite fabrici, linii de lucru (în cariere, mine, pe șantiere etc.).

b. După ecartament (e - distanța în aliniament dintre fețele interioare ale șinelor, măsurată la 14 mm sub nivelul planului de rulare), se deosebesc:

- **căi ferate cu ecartament normal** pentru care **e = 1 435 mm** (stabilit la Berna în anul 1887 la Conferința internațională a căilor ferate);
- **căi ferate cu ecartament larg**, pentru care **e > 1 435 mm** (de exemplu e = 1 524 mm în Rusia, e = 1 600 mm în Australia și Brazilia, e = 1 670 mm în Spania și Portugalia, respectiv e = 1 676 mm Argentina, Chile și India);
- **căi ferate cu ecartament îngust**, pentru care **e < 1 435 mm**, folosit în țări ca: Noua Zeelandă, Algeria, Grecia, Japonia. La noi în țară acest tip de cale ferată se folosește în special la linii industriale, miniere, forestiere, de șantier cu valori ale ecartamentului de 1 000; 760 sau 600 mm.

c. După poziția căii față de nivelul terenului înconjurător există:

- **căi ferate obișnuite** (la nivelul terenului);
- **căi ferate subterane** (prin tuneluri);
- **căi ferate aeriene** (pe lucrări de artă, suspendate).

d. După felul reazemului sub talpa şinei se deosebesc:

- **căi ferate cu longrine;**
- **căi ferate cu dale;**
- **căi ferate cu traverse.**

e. După relieful zonei străbătute se reţine următoarea clasificare:

- **căi ferate de munte**, care se caracterizează prin declivităţi mari d > 12 $^0/_{00}$ şi curbe cu raze mici R = 200...300 m;
- **căi ferate de deal**, care se caracterizează prin declivităţi medii d = 6...12 $^0/_{00}$ şi curbe cu raze de 300...1 000 m
- **căi ferate de şes**, care se caracterizează prin declivităţi mici d < 6 $^0/_{00}$ şi curbe cu raze mari R > 1 000 m.

f. După numărul de linii se deosebesc:

- **căi ferate simple;**
- **căi ferate duble;**
- **căi ferate multiple.**

g. După felul traficului există căi ferate: **de mărfuri, de călători şi mixte.**

h. După modul de transmitere a forţei de tracţiune se deosebesc:

- **căi ferate cu adeziune** la care tracţiunea se realizează pe seama frecării dintre bandajul roţilor motoare şi suprafaţa de rulare a şinei;
- **căi ferate cu cremalieră** la care tracţiunea se realizează cu ajutorul unei şine dinţate specială în care se angrenează o roată dinţată ataşată la locomotivă. Se utilizează la declivităţi mari d = 40...500 $^0/_{00}$;
- **căi ferate cu cablu** (funiculare pe şină) la care tracţiunea este ajutată de un cablu tractor, putându-se învinge astfel declivităţi până la 1200 $^0/_{00}$.

1.2.2.2. Situaţia căilor ferate din România

Structura reţelei de căi ferate din ţara noastră, aflate în administrarea Ministerului Transporturilor, la 1 ianuarie 1994, este prezentată în tabelul 1.7.

Tabelul 1.7.

Total, km	Căi ferate electrificate km	Căi ferate normale, în km:			Căi ferate înguste, km
		Total, km	Simple, km	Duble, km	
11 320	3 758	10 893	7 927	2 966	427

În România, starea reţelei feroviare, în special starea căii, este mult sub standardele europene. Şinele, traversele şi prinderile sunt suprasolicitate datorită următorilor factori:

- sarcina pe osie sporită de la 180 kN la 200 kN, respectiv la 225 kN;
- creşterea vitezei trenurilor de marfă de la 50 km/h la 80 km/h;
- volumul traficului în creştere până în anul 1989.

Societatea Naţională a Căilor Ferate Române are în întreţinere un total de 22 367 km linii, din care 7 748 km nu au fost întreţinuţi conform normativelor de întreţinere (4 100 km buraj, 1 500 km curăţarea balastului şi 2 148 km reparaţii capitale).

Cu toate acestea, volumul actual al traficului feroviar este mult sub capacitatea de circulaţie efectivă. Astfel, capacitatea căilor ferate duble înzestrate cu bloc de linie automat este de 144 perechi trenuri echivalente marfă/zi, în timp ce, pe cel mai circulat tronson de cale ferată dublă, Bucureşti - Ploieşti, circulă zilnic 56 perechi trenuri de călători şi 25 perechi trenuri de marfă (coeficientul de utilizare fiind de max. 55 %).

În perioada 1994 - 2005 principalele obiective prevăzute în sectorul căilor ferate sunt următoarele:

- realizarea condiţiilor de circulaţie cu viteze de 140...160 km/h pe coridoarele feroviare care fac legatura cu reţeaua feroviară europeană: Constanţa - Bucureşti - Timişoara - Arad, Calafat - Timişoara - Arad, Oradea - Cluj - Piteşti - Bucureşti, Suceava - Bacău - Ploieşti - Bucureşti, Galaţi - Făureni - Bucureşti şi Craiova - Roşiori - Bucureşti şi în perspectivă, ridicarea vitezei până la 200 km/h;
- introducerea serviciilor de legături rapide de tip INTER-CITY între marile centre urbane ale ţării;
- cuplarea la legăturile internaţionale ale serviciilor EURO-CITY, cu garantarea duratelor de transport şi a calităţii serviciilor pe teritoriul României la nivelul standardelor europene;
- introducerea de servicii diversificate de transport pentru mărfuri, de tipul "vagon direct de marfă", "tren direct de marfă", " expres de marfă", "transport la termen garantat", "transport din poartă în poartă".

De asemenea, vor continua activităţile de modernizare a reţelei de căi ferate prin dublări şi electrificări de linii, dotarea cu instalaţii de semnalizare, centralizare şi bloc automat, precum şi lucrările destinate sporirii capacităţii portante a liniilor pentru a se adapta la sarcinile pe osie existente.

1.2.3. Transportul aerian

Elementele constitutive ale sistemului de transport aerian sunt aparatul de zbor şi aeroportul. Dintre acestea, pentru inginerul de căi de comunicaţie prezintă interes aeroportul, cu pista de aterizare-decolare ca element constructiv principal.

Reţeaua aeriană din ţara noastră este compusă din 17 aeroporturi din care 5 deschise traficului intern şi internaţional şi 12 deschise numai traficului intern. Compania TAROM S.A. (principalul prestator de transporturi aeriene) asigură curse regulate externe cu cca 35 oraşe mari şi capitale din lume.

1.2.4. Transportul naval

Sectorul de căi navigabile, în exploatare, din România are o lungime de cca 1 750 km şi cuprinde căi maritime pentru accesul navelor maritime în porturile de la Marea Neagră, căi fluvio-maritime şi căi fluviale, care includ şi Canalul Dunăre - Marea Neagră în lungime de 64,4 km. La reţeaua de căi navigabile interioare şi Marea Neagră sunt itegrate 35 porturi, din care: 3 porturi maritime, 6 porturi fluvio-maritime şi 26 porturi fluviale.

1.3. Sistemul unitar de transport

Sistemul unitar de transport reprezintă o treaptă superioară a organizării deplasării mărfurilor şi călătorilor, caracterizat prin coordonarea de ansamblu a activităţii tuturor felurilor de transport.

Crearea sistemului unitar de transport presupune perfecţionarea coordonării diferitelor categorii de mijloace şi instalaţii de transport, delimitarea şi completarea reciprocă a sferelor de activitate ale acestor categorii, în aşa fel încât fiecare fel de transport să asigure acea parte a traficului care corespunde cel mai bine condiţiilor sale tehnice, energetice şi economice. În acest fel, la nivelul economiei naţionale transporturile de mărfuri şi călători vor fi satisfăcute cu maximă rapiditate şi eficienţă.

În acest context, datele statistice la nivel naţional pe anul 1995 privind repartizarea transporturilor de mărfuri şi călători pe sisteme de transport sunt prezentate în tabelul 1.8.

În privinţa transportului de mărfuri, fără a ţine seama de parcursul lor, iese în evidenţă prioritatea transportului rutier (82,0 % din total), care se impune prin una din caracteristicile sale de bază: asigură transportul mărfurilor din poartă în poartă.

De asemenea, transportul rutier este folosit pentru transportarea mărfurilor de la desfacere la staţiile de cale ferată, aeroporturi, porturi, respectiv de la acestea la destinaţie. Dacă se analizează parcursul mărfurilor, atunci ies în evidenţă transporturile feroviare (30,7 % din total) şi maritim (46,5 % din total), care sunt economice pentru distanţe mari de transport şi pentru cantităţi importante de mărfuri cu aceeaşi destinaţie.

Referitor la transporturile de călători se remarcă prioritatea transporturilor rutiere, care asigură 68,9 % din ponderea călătorilor transportaţi şi 47,2 % din parcursul călătorilor. Având în vedere capacitatea de transport, siguranţa şi confortul călătoriilor pe distanţe lungi cu trenul, transporturile feroviare asigură 46,3 % din parcursul călătoriilor.

Transportul prin conducte, având o funcţionare sigură şi aproape permanentă constituie o soluţie optimă de transport a substanţelor lichide atât pe distanţe scurte, cât şi foarte lungi.

Tabelul 1.8.

Sistemul de transport	Total mărfuri transportate, mii t	Parcursul mărfurilor mil.t km	Totalul călătorilor transportați, mii călători	Parcursul călătorilor mil.călăt. km
Transportul feroviar	98 961	25 170	225 397	19 402
Transportul rutier	574 482	14 534	506 078	19 817
Transportul fluvial	7 074	1 592	868	25
Transportul maritim	6 918	38 175	-	-
Transportul aerian	35	108	1 717	2 698
Transportul prin conducte	13 416	2 471	-	-
TOTAL	700 886	82 050	734 060	41 942

În cadrul sistemului unitar național de transporturi, Ministerul Transporturilor are în subordine în totalitate transporturile feroviare, navigația fluvială și maritimă, transportul interurban de călători și o parte importantă a transportului rutier de mărfuri. De asemenea, același minister exercită rolul de coordonator unic pentru mijloacele de transport care nu îi sunt subordonate direct.

2. ELEMENTE CARACTERISTICE CĂILOR DE COMUNICAȚIE TERESTRE

Căile de comunicație construite în principal pe suprafața pământului se numesc căi de comunicație terestre. Din acestea fac parte drumurile, căile ferate, telefericele. În continuare se vor aborda numai probleme legate de construcția, întreținerea și exploatarea drumurilor și căilor ferate, care vor fi denumite căi de comunicație terestre.

Definirea elementelor geometrice și constructive ale căilor de comunicație terestre pune în evidență o serie de termeni care au aceeași semnificație pentru drumuri și căi ferate, precum și alții specifici pentru fiecare din cele două căi de comunicație.

2.1. Infrastructura și suprastructura

Scoarța terestră prezintă în majoritatea cazurilor o suprafață neregulată, având dealuri și munți cu pante pronunțate și înălțimi mari, ape de suprafață și subterane, precum și o oarecare sensibilitate la acțiunea agenților exteriori: apă, vânt, umiditate, soare, îngheț, dezgheț etc. În aceste condiții, circulația oamenilor și, mai ales, a vehiculelor, este imposibilă sau, în orice caz, foarte anevoioasă. Pentru înlăturarea acestor ne[illegible]uri, constructorul de căi de comunicație terestre este nevoit să facă o serie de lucrări: [illegible]pă tranșee sau tuneluri, execută umpluturi și viaducte, construiește poduri, șanțuri, drenuri, ziduri de sprijin, asanări, evită sau consolidează zonele critice sau nesigure.

Totalitatea acestor lucrări menite să învingă dificultățile impuse de relief formează **infrastructura (I)** drumului sau căii ferate (fig. 2.1 și 2.2). Infrastructura cuprinde deci, lucrările de pământ (terasamente), inclusiv lucrările de consolidare, asanare sau protecție (ziduri de sprijin, drenuri, pereuri etc.) și lucrările de artă (poduri, podețe, viaducte, tuneluri).

Terasamentele cuprind totalitatea lucrărilor de pă[illegible]nt (săpături,

umpluturi, transporturi) executate în vederea realizării rambleurilor (umpluturilor) şi debleurilor (săpăturilor) din infrastructura căii de comunicaţie.

La partea superioară a terasamentelor de drumuri se execută **stratul de formă**, care are rolul de a uniformiza şi spori capacitatea portantă la nivelul patul drumului. La căile ferate la partea superioară a terasamentelor se execută **stratul de repartiţie** din nisip sau pietriş de râu neciuruit (fig. 2.2).

Pentru a permite o circulaţie sigură şi comodă, cu viteze mari şi, mai ales, pentru a reduce cât mai mult rezistenţele pe care le întâmpină un vehicul în mers, partea superioară a căii, care vine în contact cu vehiculele, trebuie amenajată în mod special pentru a asigura o suprafaţă de rulare cât mai bună. Cu cât această suprafaţă este mai netedă, mai perfecţionată, cu atât efortul de tracţiune este mai redus, iar viteza posibil de atins mai mare.

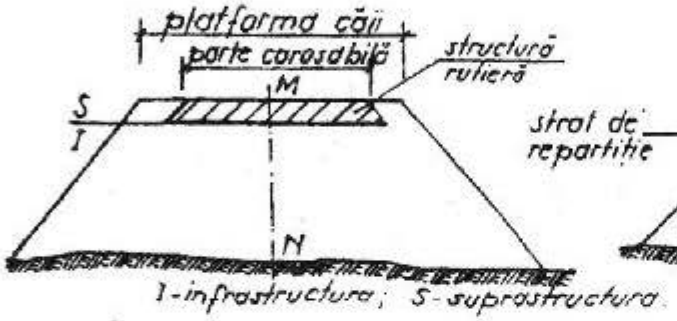


Fig. 2.1. Secţiune transversală de drum.

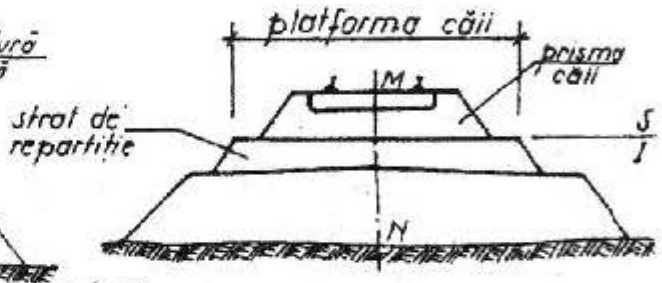


Fig. 2.2. Secţiune transversală de cale ferată.

Totalitatea lucrărilor executate cu scopul de a uşura circulaţia prin reducerea rezistenţelor datorite frecărilor (rezistenţa de rulare, rostogolire etc.) dintre vehicul şi suprafaţa de rulare formează **suprastructura căii (S)**, (fig. 2.1 şi 2.2).

Suprastructura unei căi de comunicaţie terestre constituie deci elementul intermediar dintre vehicul şi pământ (terasament) şi este chemată pe de o parte să preia sarcinile din circulaţie şi să le predea terasamentelor reduse corespunzător prin repartizarea lor pe suprafeţe mai mari, iar pe de altă parte să micşoreze rezistenţele de înaintare datorite frecărilor.

Suprastructura unui drum este alcătuită din **structura rutieră** (partea haşurată în fig. 2.1) şi amenajarea acostamentelor (suprafeţele laterale care mărginesc suprastructura). Ansamblul de straturi care alcătuiesc structura rutieră şi zona activă a terasamentelor (adâncimea până la care se anulează practic eforturile unitare produse de sarcinile mobile), formează **complexul rutier**.

La căile ferate convenţionale, sustentaţia şi dirijarea vehiculelor se face în sistemul roată-şină, suprastructura fiind formată din cele două şine de cale ferată, inclusiv aparatele de cale (schimbătoare, joncţiuni, traversări etc.), precum şi din traverse, prisma căii şi materialul mărunt de cale (tirfoane, crampoane, eclise etc.).

2.2. Elemente caracteristice în plan

Elementele caracteristice în plan ale unei căi de comunicație terestre sunt: axa căii, traseul căii, aliniamentele și racordările în plan (curbele).

Axa drumului este proiecția pe un plan orizontal a liniei generate de intersecția dintre suprafața platformei căii și suprafața generată de deplasarea în lungul căii a verticalei MN (fig. 2.1), urmărind în permanență mijlocul părții carosabile, considerată fără supralărgire și supraînălțare în curbă.

Axa căii ferate se definește ca linie teoretică din planul tangent la nivelul superior al șinelor, în aliniament și curbă, situată la jumătatea distanței dintre cele două fire de șină, considerând șinele fără supralărgire și supraînălțare în curbă (fig. 2.2). În aliniament, în cazul liniei simple, axa căii cu axa platformei căii coincid. La o linie dublă, există câte o axă pentru fiecare linie și o singură axă a platformei (în cazul platformei comune pentru ambele linii).

Traseul căii de comunicație terestre este proiecția pe un plan orizontal a liniei generate de intersecția dintre suprafața terenului natural și suprafața generată de deplasarea verticalei MN în lungul căii (fig. 2.1 și 2.2), urmărind în permanență mijlocul părții carosabile, fără supralărgire și supraînălțare în curbă, la drumuri, respectiv mijlocul distanței dintre șine, fără supralărgire și supraînălțare în curbă, la căile ferate.

Axa căii și traseul căii se confundă în planul orizontal pe care se face reprezentarea. Axa, respectiv traseul căii de comunicație se prezintă sub forma unei succesiuni de aliniamente și curbe (fig. 2.3).

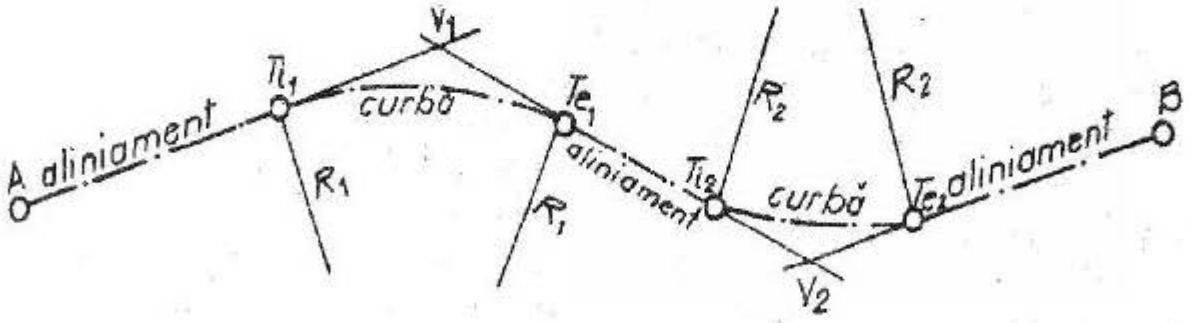


Fig. 2.3. Traseu în plan.

Aliniamentele sunt porțiunile căii de comunicație terestre situate în linie dreaptă.

Curbele sunt racordări în plan și constau în introducerea între două aliniamente succesive a unor curbe geometrice, în mod obișnuit arce de cerc sau curbe progresive (clotoida, parabola cubică, lemniscata). Se mai pot întâlni și anumite racordări speciale cum sunt cele cu arc de cerc cu rază dublă, curbe policentrice etc.

2.3. Elemente caracteristice în profil longitudinal

Profilul longitudinal al unui drum este proiecţia desfăşurată pe un plan vertical a intersecţiei dintre suprafaţa generată de verticala MN (fig. 2.1) deplasată în lungul căii prin mijlocul părţii carosabile, fără supralărgire şi supraînălţare în curbă, cu suprafaţa terenului natural şi cu suprafaţa părţii carosabile (fig. 2.4).

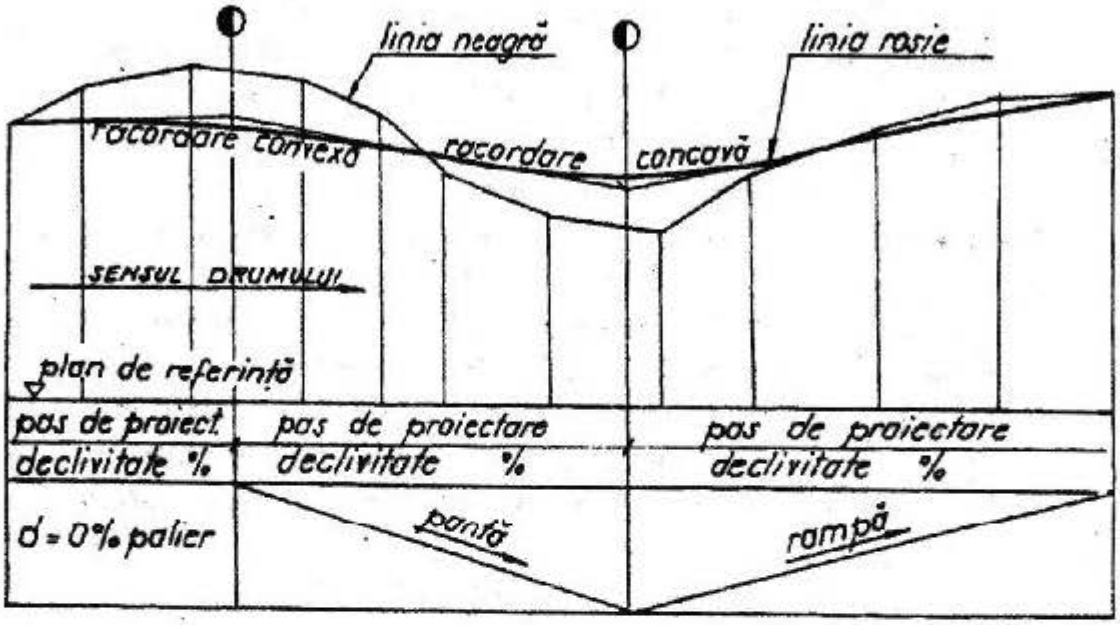


Fig. 2.4. Profil longitudinal de drum.

Profilul longitudinal al unei căi ferate reprezintă proiecţia desfăşurată pe un plan vertical a intersecţiei dintre suprafaţa generată prin deplasarea verticalei MN (fig. 2.2) în lungul căii prin mijlocul distanţei dintre şine, fără supralărgire şi supraînălţare în curbă, cu suprafaţa terenului natural şi cu suprafaţa generată de nivelul superior al şinelor. La căile ferate duble se proiectează două profiluri longitudinale, câte unul pentru fiecare linie.

Proiecţia desfăşurată pe un plan vertical a traseului căii, constituie profilul longitudinal al traseului sau **linia terenului** (la drumuri denumirea consacrată este **linia neagră**). Proiecţia desfăşurată pe acelaşi plan a axei căii defineşte profilul longitudinal al căii sau **linia proiectului** (la drumuri denumirea consacrată este **linia roşie,** iar la căile ferate **niveleta căii**).

Odată fixat traseul căii de comunicaţie în plan, linia terenului rezultă în funcţie de situaţia topografică a regiunii. Aceasta se prezintă ca o linie poligonală (în realitate curbă) cu înclinări foarte variate după relieful terenului străbătut. Acest profil nu corespunde circulaţiei vehiculelor, nici chiar la viteze mici.

Linia proiectului se trasează pe baza unor principii de proiectare, astfel încât frânturile să fie mult mai rare, înclinările mai mici, mai uniforme şi în general

racordate între ele cu arce de cerc sau alte curbe, pentru a permite o circulație sigură și comodă a vehiculelor.

Sectoarele orizontale din profilul longitudinal ale unei căi de comunicație terestre se numesc **paliere**, iar cele înclinate **rampe**, dacă se urcă în sensul de mers și **pante**, dacă se coboară în sensul de mers.

Înclinarea liniei proiectate (liniei roșie) față de orizontală se măsoară prin tangenta trigonometrică a unghiului pe care îl face această linie cu orizontala (fig. 2.5) și se numește **declivitate (d)**:

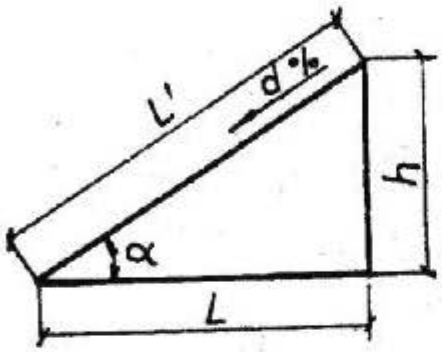


Fig. 2.5. Reprezentarea declivității.

$$d = \operatorname{tg}\alpha = \frac{h}{L} \qquad [-] \qquad (2.1)$$

în care:

h este diferența de nivel dintre două puncte oarecare, în m;

L - distanța pe orizontală dintre aceste puncte, în m.

În mod obișnuit declivitatea se exprimă la drumuri în procente (%) iar la căi ferate în promile (‰) și se obține înmulțind raportul din relația 2.1 cu 100, respectiv cu 1 000.

$$d = \frac{h}{L} \cdot 100 \qquad [\%] \qquad (2.2)$$

$$d = \frac{h}{L} \cdot 1000 \qquad [‰] \qquad (2.3)$$

La calea ferată, la proiectarea profilului longitudinal se calculează valori pentru mai multe declivități: declivitatea caracteristică (d_c), declivitatea caracteristică de trafic (d_{ct}), declivitatea pentru tracțiune multiplă (d_m), declivitatea de inerție (d_i), declivitatea echivalentă (d_e), declivitatea fictivă (d_f), noțiuni care nu vor fi detaliate în această lucrare.

Distanța dintre două schimbări consecutive de declivitate se numește **pas de proiectare** la drumuri și **element de profil** la calea ferată.

Racordarea verticală constă în introducerea între două declivități consecutive a unei curbe de racordare (arc de cerc sau arc de curbă progresivă) tangentă la cele două declivități. După poziția centrului curbei față de linia proiectului se deosebesc **racordări convexe** și **racordări concave**.

Profilul longitudinal se proiectează în două scări diferite (sc. 1:1 000 pe orizontală, în care se reprezintă distanțele, respectiv sc. 1:100 pe verticală, în care se reprezintă cotele), declivitățile reprezentate fiind deformate față de realitate.

Orice cale de comunicație are o **origine** și un **punct final** care determină sensul căii. Funcție de acestea se stabilesc noțiunile de stânga și de dreapta, precum și noțiunile de rampă și de pantă. Lungimea căii de comunicaşie se marchează prin borne kilometrice și hectometrice, astfel că orice punct al căii este definit prin poziția sa kilometrică.

2.4. Elemente caracteristice în profil transversal

Profilul transversal al unei căi de comunicație terestre este secțiunea verticală normală pe axa căii într-un punct oarecare al traseului.

În funcție de poziția căii față de suprafața terenului natural, profilul transversal poate fi: de rambleu, de debleu sau mixt.

Rambleul este o umplutură de pământ sau alte materiale locale, executată după anumite tehnologii constructive, având forme regulate și destinată să susțină suprastructura unei căi de comunicație (fig. 2.6).

Debleul este o săpătură având forme regulate, executată pentru realizarea platformei unei căi de comunicație sub nivelul terenului natural (fig. 2.7).

Profilul transversal mixt este realizat atât în umplutură cât și în săpătură.

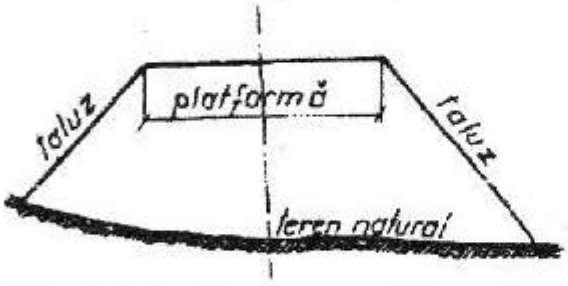


Fig. 2.6. Profil transversal de rambleu.

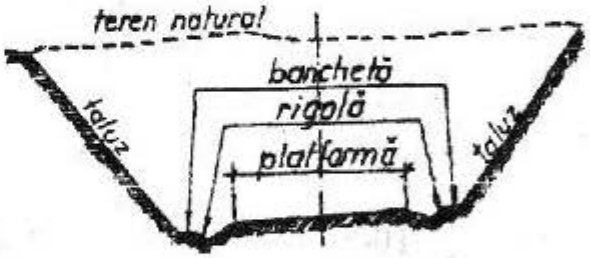


Fig. 2.7. Profil transversal de debleu.

În profil transversal o cale de comunicație terestră are următoarele elemente principale (fig. 2.8 și 2.9):

- **platforma drumului** este suprafața care cuprinde partea carosabilă și acostamentele, sau după caz, trotuare, piste pentru ciclişti, locuri de parcare, stații pentru transportul în comun etc.;

- **partea carosabilă** este suprafața din platforma drumului destinată pentru circulația vehiculelor. Ea este alcătuită în mod frecvent din două sau patru benzi de circulație. O bandă de circulație este suprafața special amenajată pentru circulația unui singur șir de vehicule.

În cazul drumurilor publice (în special pentru cele cu trafic intens și greu), se recomandă ca în rampe cu declivități mari (≥ 4 %) să se execute în sensul de urcare a doua bandă, numită bandă suplimentară pentru traficul lent. Banda suplimentară are lățimea egală cu a unei benzi de circulație;

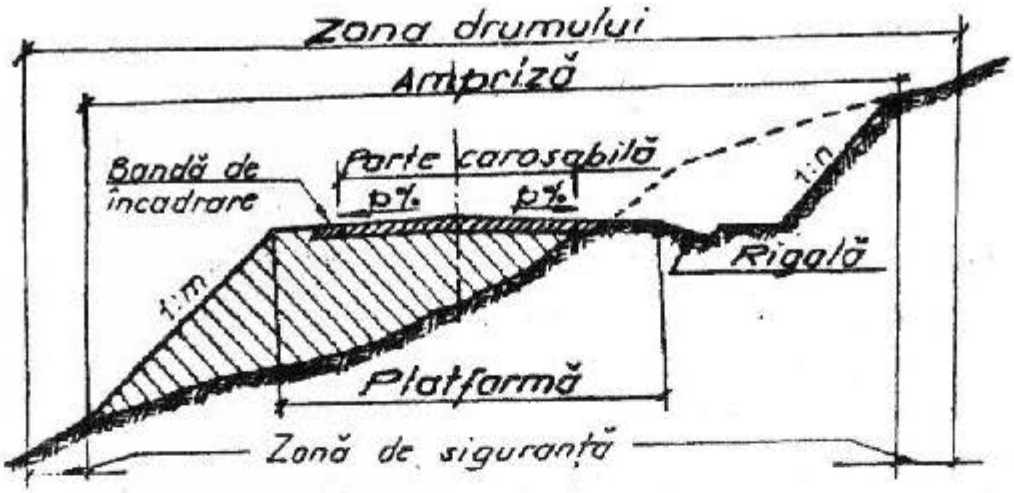


Fig. 2.8. Profil transversal de drum.

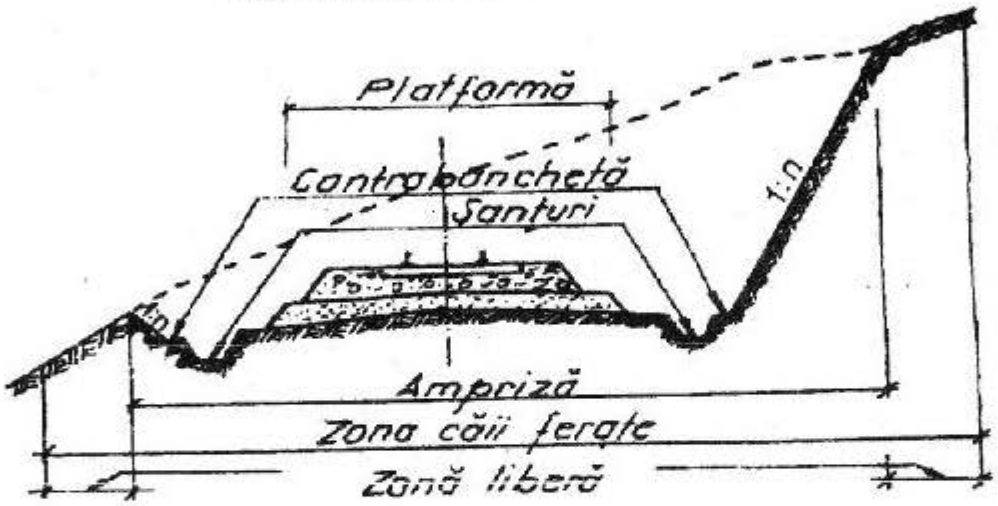


Fig. 2.9. Profil transversal de cale ferată.

- **acostamentele** sunt fâşiile laterale situate între marginile părții carosabile şi cele ale platformei drumului. Suprafețele consolidate din acostament, de lângă partea carosabilă, se numesc **benzi de încadrare**. Pe lățimea benzilor de încadrare se execută aceeaşi structură rutieră ca şi pe partea carosabilă;

- **platforma căii ferate** este fața superioară a stratului de repartiție;

- **taluzurile** sunt suprafețe înclinate ale terasamentelor sau terenului natural care mărginesc lateral un rambleu sau un debleu. Marginea superioară a taluzului se numeşte creasta taluzului, iar marginea inferioară se numeşte piciorul taluzului.

- **şanțurile şi rigolele** sunt canale deschise cu secțiune trapezoidală, respectiv triunghiulară, destinate colectării şi îndepărtării apelor de suprafață de pe platforma căii de comunicație sau de pe taluzuri. Dimensiunile lor se stabilesc printr-un calcul de dimensionare, în funcție de debitul de apă ce trebuie evacuat;

- **banchetele** (la drumuri) sau **contrabanchetele** (la calea ferată) sunt suprafețe orizontale sau aproape orizontale ale profilului transversal, amenajate la baza taluzurilor de debleu, cu scopul protejării șanțurilor sau rigolelor împotriva eventualelor căderi de bulgări de pământ sau materiale pietroase de pe taluzuri. În cazul terenurilor stâncoase și pentru economisirea terenurilor agricole se poate renunța la aceste suprafețe;

- **ampriza** este fâșia de teren ocupată de elementele constructive ale căii de comunicație terestre, în secțiune transversală, măsurată în proiecție orizontală;

- **zonele laterale** (de siguranță) sunt fâșii de teren, de o parte și de alta a amprizei, destinate pentru plantații, semnalizare etc.

Ampriza împreună cu zonele laterale formează **zona căii** de comunicație terestră.

În afară de datele privind profilul transversal al căii de comunicație, mai există o serie de elemente privind spațiul (conturul) pe care îl pot ocupa vehiculele în timpul deplasării lor, precum și distanțele până la construcțiile și instalațiile învecinate. Apare astfel noțiunea de **gabarit**, care reprezintă conturul poligonal prin care se marchează limitele maxime admise în secțiunea transversală pentru a asigura spațiul liber de trecere a vehiculelor și condițiile de siguranță a circulației (fig. 2.10 și 2.11).

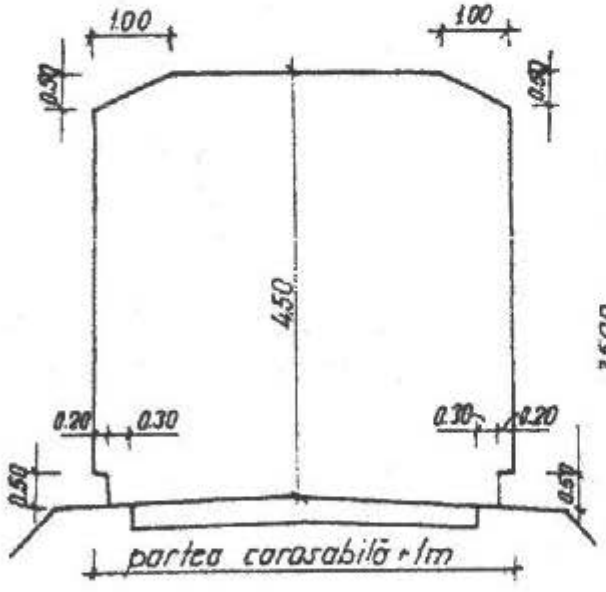


Fig. 2.10. Gabarit de liberă trecere la drumuri.

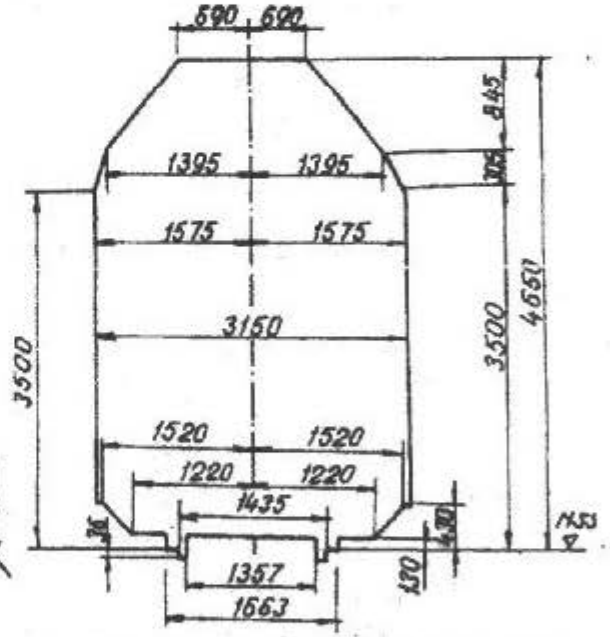


Fig. 2.11. Gabarit CFR de vagon.

Gabaritul de liberă trecere reprezintă conturul geometric transversal limită în plan vertical, perpendicular pe axa longitudinală a căii, în interiorul căruia nu este admisă pătrunderea de elemente ale construcțiilor (poduri, tuneluri, pasaje superioare, pasarele etc.) sau alte instalații și nici depozitarea de diferite materiale. Gabaritul de liberă trecere are dimensiuni mai mari decât gabaritul necesar diferitelor mijloace de transport. La calea ferată mărimea și forma gabaritului de liberă trecere sunt diferite pentru lucrări de artă, tuneluri, linii electrificate etc.

3. REZISTENȚE ÎNTÂMPINATE DE VEHICULE ÎN TIMPUL DEPLASĂRII

Pentru studiul modului de deplasare a vehiculelor, precum şi pentru proiectarea corespunzătoare a elementelor geometrice ale căii de comunicaţie terestre este necesar să se cunoască cât mai exact ansamblul de forţe care acţionează în anumite momente ale deplasării asupra mijlocului de transport.

3.1. Generalităţi

Ca orice corp solid aflat în mişcare, vehiculele întâmpină o anumită rezistenţă în timpul deplasării lor într-un anumit mediu. Aceste forţe se opun înaintării vehiculelor şi depind de o serie de factori care aparţin vehiculelor (viteză, formă, caracterul mişcării, greutate etc.), căii (suprafaţă de rulare, elemente geometrice etc.) şi mediului în care se produce mişcarea. Pentru realizarea mişcării, toate rezistenţe trebuie învinse de forţa de tracţiune dezvoltată de vehiculele motoare.

Forţa rezistentă (F) pe care vehiculul o întâmpină în mişcare, măsurată în daN sau kN, în majoritatea cazurilor este proporţională cu greutatea vehiculului. Din acest motiv se obişnuieşte ca în calcule să se lucreze cu aşa-numita **rezistenţă specifică (r)**, obţinută astfel:

$$r = \frac{F}{G} \qquad [kN/kN] \qquad (3.1)$$

în care:

F este forţa rezistentă, ca sumă a forţelor care se opun mişcării, în kN;

G - greutatea vehiculului, în kN.

Pentru ca rezistenţa specifică (r) să se exprime în daN pe fiecare kN de greutate, sau %, raportul se înmulţeşte cu 100:

$$r = \frac{F}{G} \cdot 100 \qquad [daN/kN] \qquad (3.2)$$

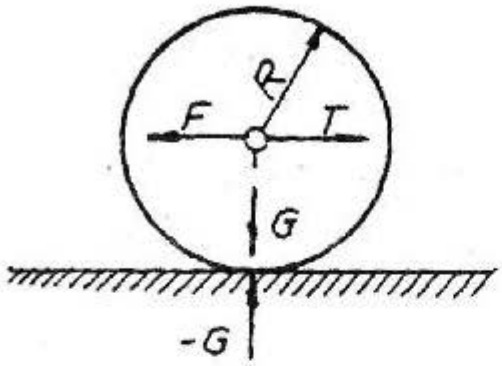


Fig. 3.1. Configurația forțelor care acționează asupra vehiculului.

În calcule, pentru simplificare, vehiculul se reduce la o roată de greutate G şi rază R, asupra căreia acționează forța de tracțiune T şi suma forțelor rezistente F (fig. 3.1). În aceste condiții se pot deosebi următoarele situații:

- mişcare în regim (uniformă), atunci când cele două rezultante sunt egale (T = F);
- mişcare variată (T ≠ F), caz în care se disting două variante şi anume cea a mişcării accelerate (T > F) şi cea a mişcării decelerate (T < F), fiecare dintre acestea cu rezistențele lor specifice. În afara rezistențelor sus-menționate, în timpul mişcării mai apar aşa-numitele rezistențe speciale şi accidentale care nu vor fi tratate în această lucrare.

3.2. Rezistențe în mişcarea de regim

Rezistențele care apar în mişcarea de regim sunt rezistențele la rulare (în palier şi aliniament) şi rezistențele datorate traseului.

3.2.1. Rezistențe la rulare

Rezistențele întâmpinate de vehicul la rulare sunt în principal rezistența la rostogolire, rezistența frecării în lagăre, rezistența aerului şi o serie de rezistențe suplimentare.

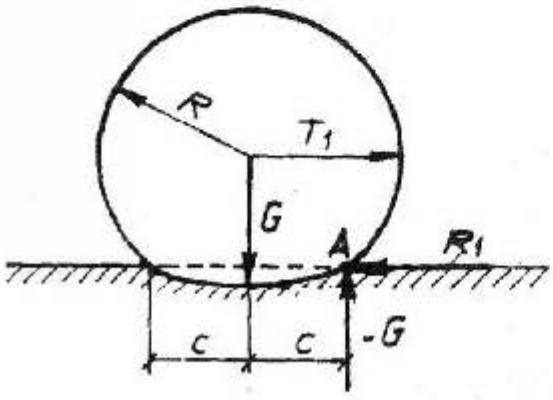


Fig. 3.2. Rezistența la rostogolire.

a. Rezistența la rostogolire (R_1) apare din cauza deformării atât a roții, cât şi a căii, în zona lor de contact. Modul de deformare depinde de calitățile elastice şi plastice ale corpurilor care vin în contact (roata şi calea). Din cauza pragului care se formează (distanța 2c din fig. 3.2), apare o rezistență la înaintarea vehiculului, deoarece, în momentul deplasării, reacțiunea căii (-G) se deplasează în punctul A, dând naştere la un moment de întârziere G.c.

Raportând forțele la periferia roții, momentul întârzietor **G.c** trebuie să fie echilibrat de momentul dat de forța de tracțiune T_1, care la rândul ei este egală în momentul deplasării cu forța rezistentă R_1. În concluzie pentru ca vehiculul să înainteze trebuie să existe următoarele egalități: $G.c = T_1.R = R_1.R$.

În acest mod, rezistența specifică la rostogolire se calculează astfel:

$$r_1 = 100 \cdot \frac{R_1}{G} = \frac{100}{G} \cdot \frac{G \cdot c}{R} = 100 \cdot \frac{c}{R} \qquad [daN/kN] \qquad (3.3)$$

în care:

c este coeficientul rezistenței la rostogolire și are dimensiuni de lungime. La căi ferate c = 0,3...0,7 mm și crește datorită uzurilor (șină și bandaj) sau deformațiilor căii. La drumuri c = 4...60 mm, funcție de natura și starea îmbrăcămintei și de presiunea din pneu.

b. Rezistența frecării în lagăre (R_2) apare din cauza coeficientului de frecare la alunecare a fusului osiei pe cuzineți (căruțe, roțile autovehiculelor și remorcilor) sau a lagărului pe fusul osiilor (material rulant de cale ferată).

La contactul dintre fusul osiei și cuzinet sau lagăr, deci în general la nivelul rulmentului, apare în primul caz forța de frecare H (fig. 3.3.a), iar în al doilea caz forța de frecare H' (fig. 3.3.b):

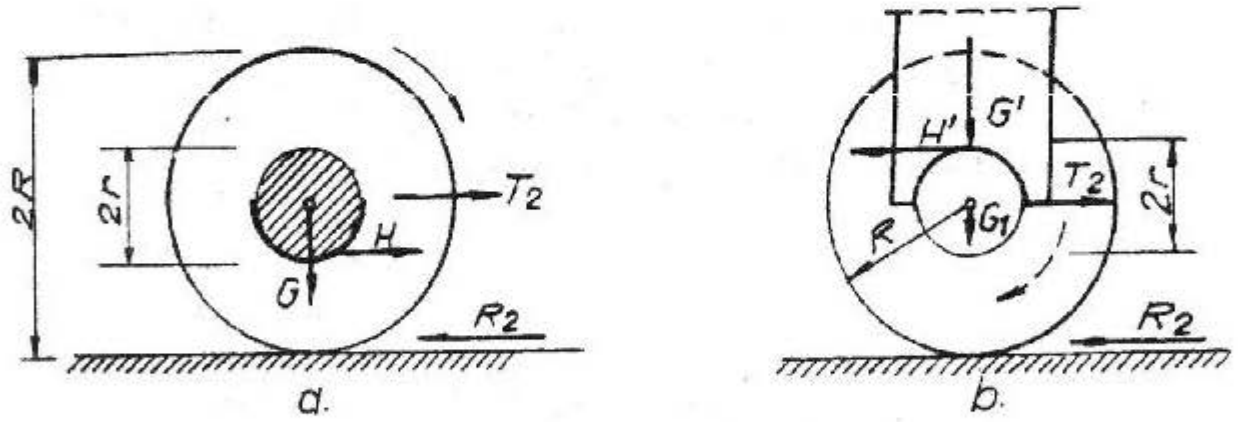


Fig. 3.3. Rezistența frecării în lagăre.

$$H = \mu \cdot G \qquad [kN] \qquad (3.4)$$

$$H' = \mu \cdot G' \qquad [kN] \qquad (3.5)$$

în care:

μ este coeficientul de frecare la alunecare între fus și lagăr sau cuzinet. Se micșorează prin lubrifianți, rulmenți etc.;

G - greutatea vehiculului care acționează asupra roții, în daN;

G' = G - G_1, unde G_1 este greutatea osiei și roților, în daN.

Rezistența specifică (r_2) se calculează luând în considerare condiția echilibrării momentului rezistent de momentul produs de o forță de tracțiune T_2, care în momentul mișcării este egală cu forța rezistentă R_2:

$$H \cdot r = T_2 \cdot r = R_2 \cdot R \qquad (3.6)$$

de unde:

$$r_2 = \frac{100}{G} \cdot R_2 = \frac{100}{G} \cdot \frac{\mu r G}{R} = 100 \cdot \frac{\mu r}{R} \qquad [daN/kN] \qquad (3.7)$$

În al doilea caz, rezistența specifică (r_2) se calculează în mod similar, astfel:

$$r_2 = \frac{100}{G} \cdot R_2 = 100 \cdot \frac{\mu r}{R} \cdot \left(1 - \frac{G_1}{G}\right) \qquad [daN/kN] \qquad (3.8)$$

c. **Rezistența aerului (R_3)** este cauzată de presiunea aerului pe suprafața frontală a vehiculului, de frecările pe fețele laterale și de fenomenul de sucțiune creat de curenții de aer din spatele vehiculului. La viteze mari, în mișcarea în regim, rezistența aerului este cea mai importantă rezistență pe care trebuie să o învingă motorul.

Pentru determinarea presiunii frontale se presupune că masa aerului se mișcă cu viteza v iar suprafața A expusă presiunii frontale stă pe loc. Se egalează lucrul mecanic necesar pentru a mișca suprafața A, expusă presiunii aerului p, pe lungimea L, cu energia cinetică a masei aerului ($1/g.A.L.\gamma_{aer}$) care se mișcă cu viteza v (γ_{aer} = 1,23 daN/m^3):

$$p \cdot A \cdot L = \frac{1}{g} \cdot A \cdot L \cdot \gamma_{aer} \cdot \frac{v^2}{2} \qquad (3.9)$$

în care: p[daN/m^2]; A[m^2]; L[m]; g[m/s^2]; γ [daN/m^3]; v [m/s] = V[km/h]/3,6.

Rezultă că presiunea aerului este influențată de viteză (V, în km/h):

$$p = \frac{\gamma v^2}{2g} = \frac{1{,}23\,V^2}{2 \cdot 9{,}81 \cdot 3{,}6^2} = 0{,}5 \cdot \left(\frac{V}{10}\right)^2 \qquad [daN/m^2] \qquad (3.10)$$

În aceste condiții, forța rezistentă datorită aerului pe o suprafață frontală a unui vehicul (R'_3) este dată de relația următoare:

$$R'_3 = \rho \cdot A \cdot p = 0{,}5 \cdot \rho \cdot A \cdot \left(\frac{V}{10}\right)^2 \qquad [daN] \qquad (3.11)$$

în care:

A este aria suprafeței frontale a vehiculului (A = 10...12 m^2 la locomotive; A = 2...3 m^2 la autoturisme; A = 4...6 m^2 la autobuze etc.);

ρ - coeficient de reducere a rezistenței frontale datorită formei aerodinamice a acesteia;

p - presiunea aerului pe o suprafață frontală, în daN/m^2.

Rezistențele din cauza frecării aerului pe fețele laterale ale vehiculului și din cauza sucțiunii nu se pot stabili practic prin calcul, ci doar pe cale experimentală.

Este de reținut că rezistența la înaintare datorită aerului nu depinde de greutate, ci de pătratul vitezei (viteză la care se poate adăuga viteza vântului din față) și este foarte variată de la un tip de vehicul la altul, motiv pentru care această rezistență se evaluează în mod curent prin relații empirice.

d. Rezistența suplimentară (R_4) reprezintă o sumă de rezistențe care nu se pot nominaliza separat și cu atât mai mult nu se pot calcula din cauza complexității factorilor care le produc. Ele sunt produse de imperfecțiunile căii și ale vehiculelor, de frecările care apar la piesele mecanismului motor, de frecările dintre roți și cale etc. În aceste condiții rezistența suplimentară R_4 se poate deduce numai pe cale experimentală.

Rezistența suplimentară R_4, împreună cu rezistențele R_1, R_2 și R_3, formează așa-numita **rezistență la mers, rezistență la rulare** sau **rezistență principală (R_0)**, care apare în palier și aliniament în condiții obișnuite de exploatare.

Rezistența specifică la rulare (r_0) în mișcarea pe calea ferată este relativ mică 0,4...0,5 daN/kN, în comparație cu vehiculele rutiere la care se ridică la 1,0...4,0 daN/kN, funcție de tipul vehiculului și gradul de perfecționare a îmbrăcămintei rutiere.

3.2.2. Rezistențe datorate traseului

Rezistențele datorate traseului apar în mișcarea în regim, pe lângă rezistențele de rulare, atunci când vehiculul parcurge sectoare situate în declivitate sau în curbă.

a. Rezistența datorată declivităților (R_5) apare la deplasarea unui vehicul pe o rampă și este dată de componenta greutății vehiculului pe direcția de deplasare, dirijată în sens invers mersului (fig. 3.4). Dacă vehiculul parcurge o pantă, această componentă a greutății este dirijată în sensul de mers și nu este o rezistență, ci suplimentează forța de tracțiune.

Forța de rezistență datorată declivității este dată de relația următoare:

$$R_5 = R_d = G \cdot \sin\alpha \qquad [kN] \qquad (3.12)$$

Rezistența specifică (r_5) în acest caz este următoarea:

$$r_5 = 100 \cdot \sin\alpha \qquad [daN/kN] \qquad (3.13)$$

Înclinațiile căii față de orizontală (declivitățile) la căile de comunicație terestre sunt mici, deci unghiurile α sunt mici, motiv pentru care se poate considera că există egalitatea $tg\,\alpha \cong \sin\alpha$.

În aceste condiții rezistența specifică (r_5) se poate calcula astfel:

$$r_5 = 100 \cdot \sin\alpha = 100 \cdot tg\,\alpha = 100 \cdot d = d,\ \text{în \%} \qquad [daN/kN] \qquad (3.14)$$

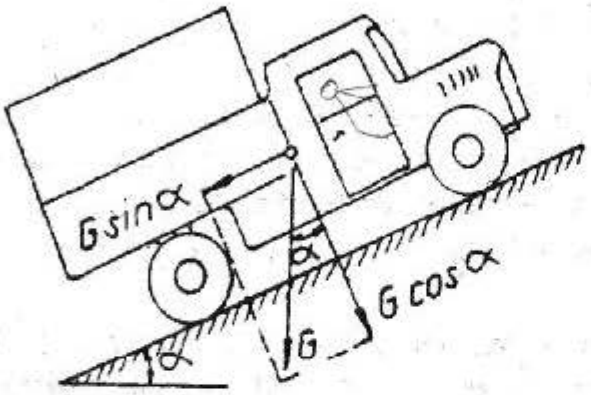


Fig. 3.4. Rezistența datorată declivității.

Adică fiecare kN din greutatea vehiculului trebuie să învingă suplimentar o rezistență (în daN) egală cu valoarea declivității, exprimată în %.

b. Rezistența datorată curbelor (R_6) apare la deplasarea unui vehicul pe sectoarele curbe ale traseului ca urmare a apariției unor forțe suplimentare. Forțele suplimentare respective apar ca urmare a acțiunii forței centrifuge asupra vehiculului și ca o consecință a înscrierii și circulației mai dificile a vehiculului în curbă.

La materialul rulant de cale ferată cauzele care produc aceste forțe suplimentare, sunt, în principal, următoarele:

- mișcarea în curbă produce alunecări și patinări din cauza roților care sunt solidare cu osia, care la rândul lor produc frecări suplimentare;
- forța de ghidare care împiedică deplasarea vehiculului după o direcție tangențială la curbă. Între buza bandajului roții ghidate și fața laterală activă a șinei se produce o frecare la alunecare și deci o rezistență suplimentară. Datorită paralelismului dintre osii la circulația în curbă apar și la alte frecări între buza bandajului și fața laterală a ciupercii șinei;
- rezistența produsă de inerția de rotire a vehiculului la intrarea în curbă este învinsă de forța de ghidare, care apare la intrarea în curbă ca un șoc;
- la viteze diferite de cea pentru care a fost calculată supraînălțarea căii, rezultanta dintre greutatea vehiculului și forța centrifugă deplasează vehiculul spre exterior sau spre interior, producându-se rezistențe suplimentare din cauza frecărilor dintre bandajul roților și ciuperca șinei.

Rezistența în curbă (R_6) la calea ferată depinde de mai mulți factori: raza curbei, ecartamentul liniei și supralărgirea căii în curbă, starea căii și supraînălțarea ei,

ampatamentul materialului rulant, numărul de osii şi posibilitatea mişcării lor radiale, existenţa şi tipul boghiurilor, diametrul roţilor, tensiunile din aparatele de legare şi tampoane, profilul şi uzura bandajelor şi a şinelor, viteza de circulaţie, coeficienţii de frecare, lungimea trenului şi poziţia lui în curbă, lungimea curbelor etc.

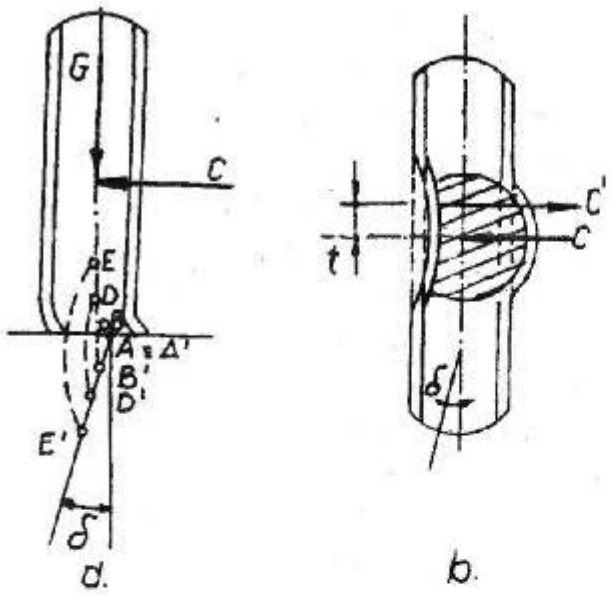


Fig. 3.5. Deformarea pneului autovehiculelor în curbă.

La vehiculele rutiere, în timpul parcurgerii curbelor, din cauza elasticităţii anvelopelor şi deformaţiei cauciucurilor, sub acţiunea forţelor transversale, care trec prin centrul roţii, direcţia de mişcare a centrului roţii este diferită de planul median, formând cu acesta un unghi δ. Acest unghi se numeşte unghi de deviere laterală sau unghi de derivă (fig. 3.5).

Solicitat de forţa transversală C, pneul, în vederea din faţă (fig. 3.5.a), se deformează astfel încât, în deplasare, punctelor A, B, C, D, care fac parte din linia mediană a pneului, le corespund pe partea carosabilă punctele A', B', C' şi D'. Punctele A', B', C' şi D' se dispun pe partea carosabilă după o dreaptă care face cu planul median al roţii unghiul δ.

În fig. 3.5.b se prezintă modificările amprentei pneului, ca formă şi poziţie, faţă de planul median în curbă. Reacţiunea laterală a căii asupra pneului (C'), ca rezultantă a forţelor elementare laterale din amprentă, este deplasată cu distanţa t, faţă de mijlocul amprentei, deoarece distribuţia forţelor pe suprafaţa de contact este nesimetrică. Rezultă un moment stabilizator care tinde să micşoreze unghiul δ, numit **moment de autoaliniere**, dat de relaţia următoare:

$$M = C' \cdot t \qquad [daN\,m] \qquad (3.15)$$

Pentru o sarcină verticală pe roată dată G, momentul de autoaliniere trece printr-un maxim corespunzător unei valori $\delta = 5...6^{0}$. Odată atinsă această valoare, efortul depus de utilizator pentru rotirea volanului nu mai creşte cu reacţiunea transversală, ceea ce îl poate determina pe acesta să sporească necontrolat unghiul de bracare. De aceea se recomandă ca valorile unghiului δ să fie de max. $3...4^{0}$.

Unghiul δ este funcţie de valoarea forţei aplicate, iar reacţiunea transversală este practic proporţională cu G şi δ, pentru sarcini pe roată curente şi valori mici ale unghiului δ, astfel:

$$C' = K \cdot G \cdot \delta \qquad [daN] \qquad (3.16)$$

în care:

K este coeficientul de rezistență la deviere a pneului, cu valori medii K = 0,07...0,10.

Liniaritatea caracteristicilor de deviere a pneurilor este asigurată la valori $\delta = 3...4^{\circ}$ la autoturisme și $\delta = 4...5^{\circ}$ la autocamioane. Creșterea unghiului δ conduce la o sporire accentuată a forței de tracțiune necesară înaintării, cu sporirea consumului de carburant și uzura mai mare a pneurilor.

Rezistența în curbă (R_6) la drumuri este influențată de asemenea de un mare număr de factori: panta transversală a părții carosabile, vântul lateral, lățimea ampatamentului autovehiculului, repartizarea greutății vehiculului pe osii, supraînălțarea roților exterioare față de cele interioare, construcția suspensiei etc.

La stabilirea rezistenței în curbă atât la vehiculele feroviare cât și la cele rutiere, nu se pot lua în considerare toți factorii care intervin. Practic se utilizează relații empirice sau semiempirice cum ar fi:

- pentru vehiculele feroviare, rezistența specifică (r_6), dacă întregul tren se găsește în curbă, se calculează de regulă cu relația următoare:

$$r_6 = \frac{80}{R} \qquad [daN/kN] \qquad (3.17)$$

- pentru vehiculele rutiere rezistența specifică (r_6) este dată de relația:

$$r_6 = 1.74 \cdot f \cdot \delta \qquad [daN/kN] \qquad (3.18)$$

în care:

R este raza curbei din plan, în m;

f - coeficientul de frecare dintre pneu și îmbrăcămintea rutieră.

Suma rezistențelor specifice datorate declivităților (r_5) și curbelor (r_6) formează așa-numita **rezistență caracteristică a căii** (r_c).

3.3. Rezistențe în mișcarea variată

Mișcarea variată poate fi **accelerată** atunci când forța de tracțiune este superioară rezultantei rezistențelor care se opun înaintării vehiculului sau, **decelerată**, în cazul în care forța de tracțiune este mai mică decât rezultanta rezistențelor întâmpinate de vehicul în timpul deplasării.

3.3.1. Rezistențe în mișcarea accelerată

Față de mișcarea în regim, rezistențele suplimentare în mișcarea accelerată sunt datorate forțelor de inerție ale vehiculului care se opun majorării vitezei acestuia de la valoarea v_1 la valoarea v_2. Acestea apar ca urmare a inerției

vehiculului în mişcarea de translaţie, în urma accelerării vehiculului (rezistenţa la accelerare) şi a inerţiei pieselor vehiculului supuse mişcării de rotaţie, ca urmare a variaţiei vitezei unghiulare de rotaţie (rezistenţa de inerţie în mişcarea de rotaţie).

a. Rezistenţa la accelerare (R_7) este rezistenţa pe care o opune inerţia vehiculului în mişcare de translaţie pentru a-şi spori viteza de la v_1 la v_2. Rezultă că se poate scrie:

$$R_7 = T_7 = m \cdot a = \frac{G}{g} \cdot a = \frac{G}{g} \cdot \frac{dv}{dt} = \frac{G}{g} \cdot \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} \qquad [kN] \qquad (3.19)$$

iar rezistenţa specifică la accelerare (r_7) rezultă în acest caz astfel:

$$r_7 = \frac{100}{G} \cdot \frac{G}{g} \cdot \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{100}{G} \cdot \frac{V_2 - V_1}{3{,}6(t_2 - t_1)} \qquad [daN/kN] \qquad (3.20)$$

sau:

$$r_7 = \frac{100}{G} \cdot a = j \qquad [daN/kN] \qquad (3.21)$$

Coeficientul de accelerare (j) exprimă rezistenţa pe care o opune un kN din greutatea vehiculului (G) la schimbarea vitezei de la v_1 la v_2. Valoarea acceleraţiei uzuale (a) la autovehicule este de 1,0...2,0 m/s^2 în cazul demarajului şi de 0,5...1,5 m/s^2 în cazul accelerării, valori care corespund şi condiţiilor de confort. La locomotivele diesel a = 0,25...0,35 m/s^2 , iar la locomotivele electrice a = 0,30...0,50 m/s^2.

b. Rezistenţa de inerţie în mişcarea de rotaţie (R_8) apare din cauza inerţiei pieselor vehiculului supuse rotaţiei, cum sunt: roţile, osiile, diferitele angrenaje etc.

De regulă, pentru a ţine seama şi de această rezistenţă, valorile obţinute cu relaţiile 3.20 sau 3.21 se majorează cu 2...10 % funcţie de tipul vehiculului.

3.3.2. Rezistenţe în mişcarea decelerată

Mişcarea decelerată a unui vehicul apare atunci când se rulează cu o acceleraţie negativă şi energia cinetică iniţială este consumată prin rezistenţele care se opun mişcării (rezistenţele la rulare, rezistenţele datorată traseului, frânarea etc.), care sunt mai mari decât forţa de tracţiune, eventual multiplicată, la parcurgerea pantelor, cu componenta greutăţii paralelă cu calea.

a. Rezistenţa din frânare (R_9) se adaugă celorlalte rezistenţe care se opun mişcării şi se calculează astfel:

$$R_f = R_9 = \mu \cdot \Sigma G_i \qquad [kN] \qquad (3.22)$$

iar rezistenţa specifică din frânare (r_9) cu relaţia următoare:

$$r_9 = r_f = 100 \cdot \mu \cdot \frac{\sum G_i}{G_t} \qquad [daN/kN] \qquad (3.23)$$

în care:

μ este coeficientul de frecare;

$\sum G_i$ - suma greutăților care participă la frânare, în kN;

G_t - greutatea totală a vehiculului (trenului), în kN.

b. La parcurgerea **rampelor de avânt** care pot fi învinse datorită energiei cinetice inițiale, viteza de la piciorul rampei (v_i) se va reduce treptat, până la valoarea (v_f) de la sfârșitul rampei. În acest caz relațiile 3.19...3.21 conduc la obținerea unor valori negative, deci pun în evidență o decelerare a vehiculului.

3.4. Forța de tracțiune

Rularea roții prin care s-a simbolizat vehiculul la pct. 3.1 era posibilă ca urmare a dezvoltării în axa ei, paralel cu calea, a unei forțe motoare (T). Însumată pentru toate roțile motoare aceasta poartă denumirea de **forță de tracțiune**.

Pentru ca deplasarea să se efectueze (uniform sau accelerat) forța de tracțiune (F_t) trebuie să fie cel puțin egală cu rezultanta rezistențelor (R) care se opun mișcării:

$$F_t \geq R \qquad (3.24)$$

Valoarea forței de tracțiune este determinată de puterea motorului (P). Puterea se poate defini ca lucru mecanic în unitatea de timp și se poate scrie astfel:

$$P = \frac{F_t \cdot S}{t} = F_t \cdot v = F_t \cdot \frac{V}{3,6} \qquad (3.25)$$

În funcție de puterea nominală a motorului (N) exprimată în CP, puterea mecanică se poate scrie astfel:

$$P = 736 \cdot N^{CP} \cdot \eta \qquad [W] \qquad (3.26)$$

în care:

η este randamentul motorului, cu valori de 0,85...0,95.

Prin egalarea relațiilor 3.25 și 3.26 se obține forța de tracțiune (F_t), exprimată în N:

$$F_t = \frac{2\,650\,N}{V} \cdot \eta \qquad [N] \qquad (3.27)$$

Funcție de valorile cunoscute, relația 3.27 permite, după caz, calcularea puterii necesare a motorului pentru învingerea unei anumite rezistențe la înaintare sau viteza cu care înaintează vehiculul în anumite condiții impuse.

4. CURBE CIRCULARE

O curbă circulară care racordează două aliniamente succesive la căile de comunicație terestre are o rază constantă pe toată lungimea racordării și trebuie să fie tangentă la cele două aliniamente.

Descrierea elementelor de calcul și trasare a principalelor tipuri de racordări utilizate în plan la căile de comunicație terestre se va efectua pentru cazul concret al drumurilor, cu menționarea unor elemente caracteristice care apar la căile ferate.

4.1. Aliniamente și curbe

Circulația vehiculelor în zona vârfurilor de unghi este posibilă prin introducerea, între cele două aliniamente succesive, a unor curbe de racordare prin intermediul cărora se evită schimbarea bruscă a direcției de mers.

Racordarea aliniamentelor poate fi făcută prin **curbe interioare** (cazul obișnuit, fig. 4.1.a) sau **curbe exterioare** (serpentine, fig. 4.1.b). Serpentinele se folosesc în terenuri accidentate, când unghiul de intersecție a aliniamentelor este mic (sub 40 ^{g}) și folosirea curbelor interioare ar conduce la raze mici sau la scurtarea traseului, deci la mărirea declivității. În cazuri izolate, atunci când unghiul dintre aliniamente este apropiat de 200 ^{g} (fig. 4.1.a), se renunță la racordarea aliniamentelor, traseul prezentând așa - numite **frânturi**.

Curbele de racordare pot fi curbe la dreapta, dacă centrul racordării este în dreapta axei și curbe la stânga în caz contrar. După modul în care se succed se deosebesc curbe de același sens și curbe de sens contrar. Când două curbe apropiate sunt de sens contrar a doua curbă se numește contracurbă.

Din punct de vedere al circulației rutiere, **lungimea aliniamentelor** (distanța dintre punctele de tangență ale curbelor de racordare succesive) este limitată inferior și superior. Condițiile de siguranță și estetice impun ca aliniamentele să nu fie mai

lungi de 2...4 km, funcţie de viteza de proiectare. Aliniamentele lungi favorizează, pe timp de noapte. orbirea utilizatorilor de lumina farurilor vehiculelor ce circulă în sens contrar, crează condiţii de circulaţie monotone care scad atenţia utilizatorilor şi sunt nefavorabile înscrierii armonioase a traseului în relieful regiunii. Inferior, se recomandă ca lungimea aliniamentelor de drumuri să nu coboare sub 1,4V (V în km/h), ceea ce corespunde distanţei parcurse de vehicul în 5 s. Practic lungimea aliniamentelor la drumuri poate scădea până la zero, caz în care, curbele sunt amenajate în plan şi spaţiu (supralărgire şi supraînălţare) dependent una faţă de cealaltă. Recomandabil este ca lungimea aliniamentului intermediar dintre două curbe succesive să fie minimum 2V (V în km/h şi lungimea în m), numit aliniament de redresare, care permite amenajarea fiecărei curbe în plan şi spaţiu ca şi curbe independente.

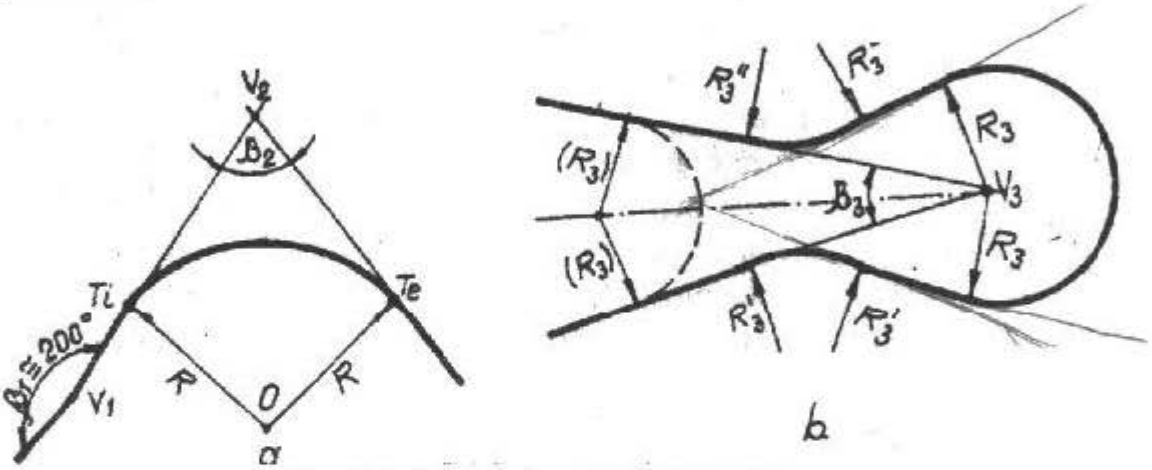


Fig. 4.1. Tipuri de racordări în plan.

Lungimea minimă a curbelor este limitată din condiţii de continuitate a axei şi de comoditate a conducerii vehiculului. Se recomandă ca lungimea unei curbe circulare, socotită între punctele de tangenţă, să fie cel puţin egală cu spaţiul parcurs de vehicul în 5 s, adică 1,4V.

Lungimea aliniamentelor, frecvenţa curbelor de racordare şi mărimea razelor acestora depind de viteza de proiectare şi de condiţiile naturale şi locale care determină existenţa unor puncte obligate sau necesitatea ocolirii unor zone dificile, cu obligaţia devierii aliniamentelor şi racordarea acestora cu curbe. Orientativ se poate reţine că un drum corespunzător încadrat în relieful regiunii pe care o străbate trebuie să aibă 20...60 % aliniamente şi curbe cu săgeata maximă ce nu depăşeşte 20...30 cm.

Principalele avantaje pe care le prezintă curbele sunt următoarele:

- fac posibilă circulaţia între două aliniamente succesive;
- înscriu firesc şi comod drumul în relieful regiunii;
- evită lucrările mari de terasamente şi lucrările de artă costisitoare şi deci reduc preţul de cost al drumului;

- evită jenarea conducătorilor de vehicule în timpul nopții de către farurile vehiculelor care circulă în sens opus;

- mențin atenția încordată a utilizatorilor datorită manevrelor necesare (se evită astfel monotonia caracteristică aliniamentelor lungi).

Din păcate introducerea curbelor atrage după sine și o serie de dezavantaje, cu atât mai importante cu cât raza de racordare este mai mică. Curbele au următoarele dezavantaje:

- lungesc axa drumului (față de linia dreaptă care unește două puncte date);
- conduc la scăderea vitezei de circulație;
- micșorează confortul și siguranța circulației, mai ales la viteze mari (apare accelerația transversală ca efect al forței centrifuge, care conduce la o circulație incomodă, favorizează derapajul și chiar răsturnarea);
- micșorează vizibilitatea în terenuri acoperite (păduri, zone construite etc.) și în debleuri, producând scăderea siguranței circulației;
- necesită lucrări de amenajare în plan și spațiu (supralărgiri și supraînălțări) și deci sporesc costul total;
- necesită sporirea forței de tracțiune din cauza rezistențelor suplimentare ce se opun mișcării vehiculului în curbă, cu efect asupra sporirii consumului de combustibil (10...40 %);
- conduc la creșterea uzurii cauciucurilor, care, în curbe cu raze mici, poate ajunge la 100 %.

O parte a inconvenientelor menționate anterior pot fi cel puțin reduse prin:

- folosirea unor curbe cu rază cât mai mare;
- introducerea curbelor progresive între aliniamente și curba centrală (principală) arc de cerc. Curbele progresive, ca urmare a razei lor variabile, permit introducerea progresivă a forței centrifuge;
- supralărgirea părții carosabile;
- asigurarea vizibilității prin lucrări speciale;
- micșorarea declivităților în profil longitudinal pe sectoarele în curbă;
- supraînălțarea profilului transversal în curbă, adică executarea căii cu o înclinare unică, spre interiorul curbei. Panta transversală este invers proporțională cu mărimea razei curbei. Curbele amenajate cu pantă transversală unică spre interior, pentru combaterea derapajului, se numesc **viraje**.

4.2. Razele curbelor circulare

Cea mai simplă racordare a două aliniamente este curba interioară cu arc de cerc de rază **R**, tangent la cele două aliniamente în punctele T_i si T_e (fig. 4.1.a).

Razele minime ale curbelor circulare în care se pot înscrie vehiculele (R^0_{min}) cu o viteză de înaintare foarte redusă depind de tipul acestora și anume:

- autoturisme: R^0_{min} = 6...12 m;
- autocamioane: R^0_{min} = 10...15 m;
- autobuze: R^0_{min} = 15...20 m;
- locomotive Diesel si electrice: R^0_{min} = 90...160 m.

Autovehiculele, spre deosebire de locomotive, se pot înscrie în curbe datorită posibilității de înclinare a roților din față (1 - roți directoare din fig. 4.2) față de osie. Această înclinare poate să ajungă până la 40...50 ^{0} față de poziția lor normală. Roțile din spate (2 - considerate roți motoare) au însă o poziție fixă și formează un unghi constant de 90 ^{0} cu planul osiei motoare (fig. 4.2).

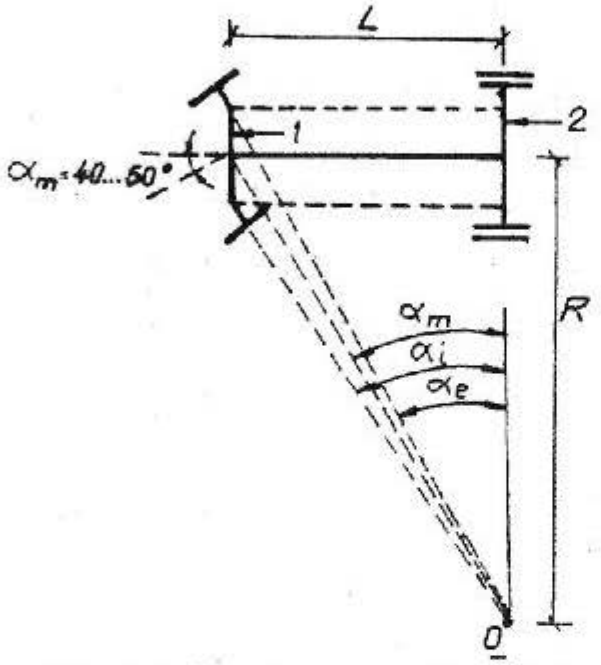


Fig. 4.2. Înscrierea autovehiculului în curbă.

În mișcarea curbilinie, pentru o viteză constantă și o poziție fixă a volanului, cele patru roți ale autovehiculului descriu arce de cerc cu raze diferite, având însă un centru comun de rotație (punctul 0 se numește centru instantaneu de rotație). În cadrul mecanismelor autovehiculului, diferențialul permite turații distincte pentru roțile directoare (roata din exterior parcurge, în același interval de timp, o distanță mai mare decât roata din interior). Diferența de înclinare a roților directoare este totuși mică, motiv pentru care se poate considera că mișcarea se face cu un unghi de rotație mediu ($\alpha = \alpha_m$), definit prin raportul L/R (pentru unghiuri mici tg $\alpha \cong \alpha \cong$ L/R).

În aceste condiții se poate trage concluzia că o dată cu creșterea razei de curbură, unghiul de cotire și accelerațiile normale și unghiulare care apar în timpul mișcării se micșorează, ceea ce înseamnă sporirea condițiilor de siguranță și confort. Din aceste considerente, se urmărește ca proiectarea racordărilor în plan să se facă cu raze mult mai mari decât valoarea razei R^0_{min}, specifică fiecărui tip de vehicul.

La materialul rulant de cale ferată, valoarea razei R^0_{min} este determinată de înscrierea locomotivei în curbă (vagoanele se pot înscrie și la raze mai mici) și este semnificativ mai mare decât pentru orice autovehicul. Acest lucru se datorează dispozitivului de rulare care are roțile fixe față de osie, iar osiile sunt paralele între ele. De exemplu pentru un vagon, dispozitivul de rulare este format din două sau trei osii montate (o osie montată este compusă dintr-o osie simplă și două roți) pe care se așază șasiul.

Osiile montate pot fi fixate câte două sau câte trei pe un cadru metalic, formând un boghiu.

Pentru drumuri normativele în vigoare prevăd utilizarea, funcție de viteza de proiectare, a razelor caracteristice din tabelul 3.1.

Viteza de proiectare (V) este viteza maximă cu care un autoturism în perfectă stare tehnică, condus de un utilizator apt fizic şi psihic, poate să circule în deplină siguranță şi confort, pe sectoarele cele mai dificile ale traseului (în care se suprapun elementele limită: raze minime în plan, declivități maxime etc.), care se găsesc în condiții normale de exploatare (stare de vizibilitate bună, fără zăpadă sau polei etc.).

Raza minimă (R_m) este valoarea minimă acceptată ca rază pentru racordarea a două aliniamente consecutive, pentru o anumită viteză de proiectare. Raza minimă se va alege doar izolat, în cazuri deosebite, unde utilizarea unor raze mai mari nu este posibilă sau introducerea lor ar conduce la sporirea semnificativă a costului lucrărilor. De asemenea, se recomandă ca, mai ales pentru drumuri noi, viteza de proiectare să varieze cât mai rar posibil pentru un sector de drum, iar sectoarele cu viteză redusă vor fi marcate prin indicatoare rutiere corespunzătoare.

Tabelul 3.1.

Raza caracteristică, în m	Viteza de proiectare (V), în km/h:						
	100	80	60	50	40	30	25
Raza minimă (R_m)	450	240	125	95	60	35	25
Raza curentă (R_c)	1 000	620	380	270	170	90	70
Raza recomandabilă (R_r)	1 600	1 000	575	400	250	150	100

Raza curentă (R_c) este raza minimă, pentru o anumită viteză de proiectare, pentru care se acceptă racordarea a două aliniamente consecutive cu arc de cerc, fără utilizarea unei curbe progresive. Pentru valori ale razei $R_m \leq R < R_c$, funcție de viteza de proiectare, este obligatorie utilizarea curbelor progresive pentru rezolvarea racordării.

Raza recomandabilă (R_r) este raza minimă, funcție de viteza de proiectare, pentru care racordarea a două aliniamente consecutive se poate face cu arc de cerc, acceptându-se circulația pe deverul negativ. **Deverul** este panta transversală a părții carosabile, de valoare **p** (în %), necesară pentru scurgerea apelor. În curbe deverul

se caracterizează în raport cu sensul înclinării față de centrul curbei, adică: deverul este **pozitiv** când panta transversală a căii este îndreptată spre interiorul curbei, opunându-se tendinței de derapare, și este **negativ** când panta transversală este îndreptată spre exteriorul curbei (nefavorabilă preluării forței centrifuge). Pentru raze $R \geq R_r$ profilul transversal în curbă este identic cu cel din aliniament (cu două pante **p**, sub formă de acoperiș), iar pentru raze $R_c \leq R < R_r$ profilul transversal în curbă va fi convertit (înclinare unică spre interiorul curbei egală cu valoarea **p** din aliniament).

La calea ferată, raza minimă pentru racordările din plan este R_{min} = 180...200 m, iar raza minimă recomandabilă are valori de 1 000 m în regiuni de șes și 300 m în regiuni dificile de munte.

4.3. Elementele principale ale curbelor circulare

Curbele circulare interioare se caracterizează prin următoarele elemente principale (fig. 4.3):

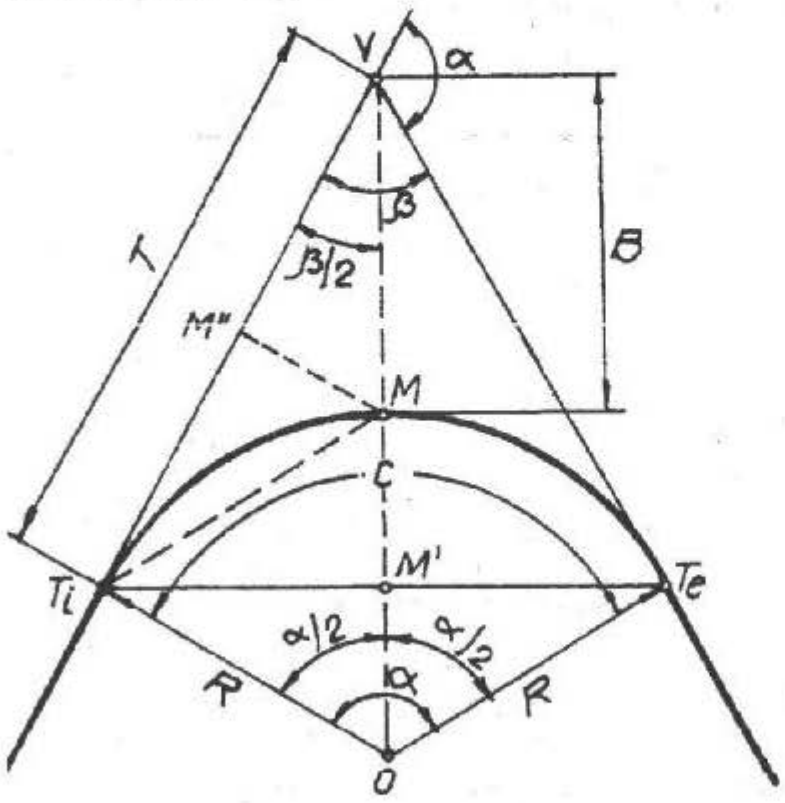


Fig. 4.3. Elementele racordării circulare.

- **unghiul** (β) dintre aliniamentele ce se racordează. Unghiul β rezultă din măsurători directe pe teren sau prin trasarea pe hartă. Acesta este suplimentar unghiului la centru α (numit și unghi de întoarcere) sau unghi exterior aliniamentelor;

- **raza curbei (R)** se alege sau se determină din condiții impuse de situația concretă din teren. Cu cât valoarea razei racordării este mai mare (la o anumită viteză de proiectare), cu atât condițiile de siguranță și confort sunt mai bune;

- **tangenta (T)** adică distanța dintre punctul de tangență cu aliniamentul (T_i sau T_e) și vârful de unghi V. Tangenta se calculează cu relația următoare:

$$T = R \cdot tg\frac{\alpha}{2} = R \cdot ctg\frac{\beta}{2} \qquad [m] \qquad (4.1)$$

- **lungimea arcului de racordare (C)** cuprinsă între punctele de intrare în curbă (T_i), respectiv de ieşire din curbă (T_e), se calculează astfel:

$$C = \frac{\pi R \alpha^0}{180^0} = \frac{\pi R \alpha^g}{200^g} = \frac{\pi R\left(180^0 - \beta\right)}{180^0} = \frac{\pi R\left(200^g - \beta\right)}{200^g} \quad [m] \qquad (4.2)$$

- **bisectoarea (B)** cuprinsă între vârful de unghi V şi mijlocul arcului T_iT_e (punctul M) pe direcţia bisectoarei unghiului β se calculează cu relaţia următoare:

$$B = \overline{VO} - \overline{MO} = \frac{R}{\sin\frac{\beta}{2}} - R = R\left(\operatorname{cosec}\frac{\beta}{2} - 1\right) \qquad [m] \qquad (4.3)$$

sau:

$$B = \frac{R}{\cos\frac{\alpha}{2}} - R = R \cdot \sec\frac{\alpha}{2} - R = R\left(\sec\frac{\alpha}{2} - 1\right) \qquad [m] \qquad (4.4)$$

Mărimile **β, R, T, C** şi **B** reprezintă elementele principale ale curbelor circulare. Acestea se calculează sau se determină cu ajutorul tabelelor şi se trec în proiect pe planul de situaţie şi profilul longitudinal.

În afară de elementele principale, la o curbă circulară se mai deosebesc:

- **lungimea corzii** ($\overline{T_iT_e}$), care se calculează cu relaţia următoare:

$$\overline{T_iT_e} = 2\overline{T_iM'} = 2R \cdot \sin\frac{\alpha}{2} = 2R \cdot \cos\frac{\beta}{2} \qquad [m] \qquad (4.5)$$

- **coordonatele mijlocului curbei** (adică ale punctului M) într-un sistem de axe rectangulare cu originea în T_i, respectiv T_e (abscisa pe direcţia tangentei şi ordonata pe direcţia razei), care se calculează cu relaţiile următoare:

$$\overline{T_iM''} = \overline{T_iM'} = R \cdot \sin\frac{\alpha}{2} = R \cdot \cos\frac{\beta}{2} \qquad [m] \qquad (4.6)$$

$$\overline{M''M} = \overline{MM'} = \overline{MO} - \overline{M'O} = R\left(1 - \cos\frac{\alpha}{2}\right) = R\left(1 - \sin\frac{\beta}{2}\right) \qquad [m] \qquad (4.7)$$

Pichetarea pe teren a unei racordări cu arc de cerc necesită următoarele operaţii:

- măsurarea directă sau determinarea indirectă (prin măsurători auxiliare şi calcule) a unghiului β;
- aflarea poziţiei punctelor T_i şi T_e;

- marcarea poziției creștetului (mijlocului curbei T_iT_e), numit și bisectoare (notat pe planșe cu M sau B);

- determinarea tangentei auxiliare (punctele D si E, deci a segmentelor $\overline{T_iD}$ și $\overline{T_eE}$);

- pichetarea punctelor intermediare pe curbă.

Operația de pichetare presupune materializarea pe teren, prin picheți metalici sau din lemn, a unor puncte de pe arcul de cerc, ale căror coordonate față de un sistem de referință (specific metodei de trasare adoptată) sunt cunoscute.

4.4. Trasarea curbelor circulare

Pichetarea punctelor intermediare, pentru curbe cu lungimi mai mari de 15...25 m, se poate efectua prin mai multe metode. Fiecare metodă utilizabilă are anumite particularități de aplicare legate de: relief, vizibilitate, precizia dorită, faza de proiectare etc.

a. Metoda ordonatelor pe tangentă sau metoda coordonatelor rectangulare se aplică în terenuri plane, cu vizibilitate suficientă. Orice punct P de pe curbă este definit de coordonatele rectangulare **x** și **y** în raport cu sistemul de referință xOy, fixat în pichetul T_i, respectiv T_e. În acest sistem, axa Ox corespunde cu prelungirea aliniamentului (Al. în fig. 4.4) pe direcția tangentei, iar axa Oy este perpendiculară pe abscisă în punctul T_i, respectiv T_e.

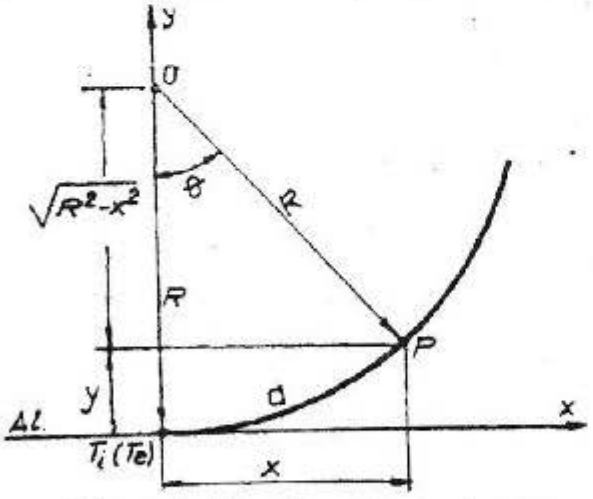


Fig. 4.4. Metoda ordonatelor pe tangentă.

Practic metoda se poate aplica în două moduri:

- considerând abscise egale pe tangentă;

- luând arce egale pe curbă.

Metoda cu abscise egale presupune alegerea unor abscise egale, mai exact a unor distanțe egale între picheți pe direcția abscisei. Originea sistemului de axe se consideră punctele T_i și T_e, după care, mergând spre vârful aliniamentelor (V), se măsoară distanțe crescând cu o mărime constantă (**x'**, **2x'**, **3x'** ș.a.m.d.).

În acest caz ordonatele y ale picheților P de pe curbă (fig. 4.4) corespunzători distanțelor măsurate pe abscisă se determină cu relația:

$$y = R - \sqrt{R^2 - x^2} \qquad [m] \qquad (4.8)$$

în care:

R este raza curbei, în m;

x - abscisa cunoscută a pichetului de pe curbă (x ia pe rând valorile x'; 2x'; 3x' ş.a.m.d.), în m.

Folosind relaţia 4.8 au fost întocmite tabele de calcul cu ajutorul cărora se obţin rapid valorile y în funcţie de rază şi de diferitele valori impuse pentru abscisă.

Întrucât nu se dau lungimile arcelor de curbă, metoda întâmpină greutăţi la hectometrarea traseului şi se aplică mai rar decât metoda cu arce egale.

Metoda cu arce egale se aplică dacă se impune ca punctele intermediare (numite picheţi) să se găsească la distanţe egale (arce egale de valoare s). În acest caz se calculează coordonatele rectangulare (x şi y) ale fiecărui pichet P de pe curbă (fig. 4.4) cu relaţia:

$$x = R \cdot \sin\theta \qquad [m] \qquad (4.9)$$

$$y = R - R \cdot \cos\theta = R(1 - \cos\theta) \qquad [m] \qquad (4.10)$$

în care:

R este raza racordării, în m;

θ - unghiul la centru corespunzător unei anumite lungimi a dată arcului (a ia pe rând valorile s; 2s; 3s ş.a.m.d.). Valoarea unghiului θ rezultă astfel:

$$\theta = \frac{200a}{\pi R} \quad [^g] \quad \text{sau:} \quad \theta = \frac{180a}{\pi R} \quad [^0] \qquad (4.11)$$

cu care relaţiile 4.9 şi 4.10 devin:

$$x = R \cdot \sin\frac{200a}{\pi R} \qquad [m] \qquad (4.12)$$

$$y = R\left(1 - \cos\frac{200a}{\pi R}\right) \qquad [m] \qquad (4.13)$$

Ca şi în cazul metodei cu abscise egale, pe baza relaţiilor de calcul 4.12 şi 4.13 au fost întocmite tabele care permit extragerea, pentru un arc impus şi o anumită rază, valorilor coordonatelor carteziene x şi y.

Lungimea arcului dintre doi picheţi consecutivi nu trebuie să depăşească anumite valori deoarece măsurarea distanţei dintre puncte se face pe coardă şi nu pe arc şi deci lungimi prea mari ale arcului pot conduce la erori neadmise în practica de trasare a curbelor la căi de comunicaţie terestre.

Dacă se consideră un arc de cerc de lungime a, atunci eroarea (Δ) introdusă prin măsurarea lungimii arcului pe coarda subîntinsă (c) este egală cu diferenţa dintre mărimea arcului de cerc şi cea a corzii corespunzătoare (fig. 4.5):

$$\Delta = a - c = \theta \cdot R - 2R \cdot \sin\frac{\theta}{2} \qquad [m] \qquad (4.14)$$

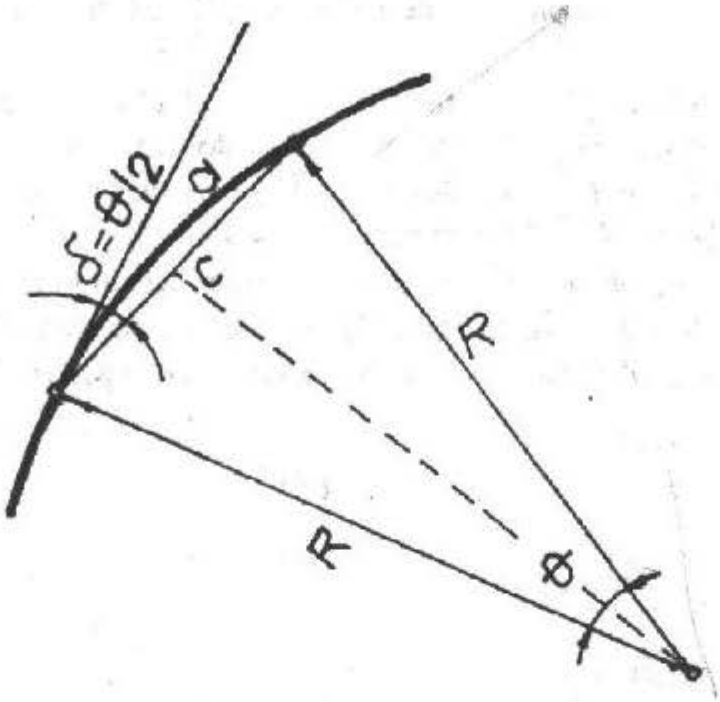


Fig. 4.5. Eroarea introdusă prin măsurarea lungimii arcului pe coarda subîntinsă.

Dacă se notează $\delta = \theta/2 = \frac{a}{2R}$ (unghiul pe periferie subîntins de coarda corespunzătoare unghiului la centru θ) atunci relația 4.14 devine:

$$\Delta = 2\delta \cdot R - 2R \cdot \sin\delta = 2R(\delta - \sin\delta) \qquad [m] \qquad (4.15)$$

sau dezvoltând în serie pe sin δ:

$$\Delta = 2\delta \cdot R - 2R \cdot \sin\delta = 2R\left(\delta - \frac{\delta^1}{1!} + \frac{\delta^3}{3!} - \frac{\delta^5}{5!} + \frac{\delta^7}{7!} - \cdots\right) [m] \qquad (4.16)$$

Dacă se neglijează termenii mai mari de gradul trei, se obține:

$$\Delta = 2R\left(\delta - \delta + \frac{\delta^3}{6}\right) = \frac{R \cdot \delta^3}{3} \qquad [m] \qquad (4.17)$$

Înlocuind pe δ în relația 4.17, se obține:

$$\Delta = \frac{R}{3} \cdot \left(\frac{a}{2R}\right)^3 = \frac{a^3}{24R^2} \qquad [m] \qquad (4.18)$$

Dacă la măsurarea distanțelor între picheți se admite o eroare de maximum 0,001a atunci conform relației precedente se poate scrie egalitatea următoare:

$$\Delta = 0{,}001a = \frac{a^3}{24R^2} \qquad (4.19)$$

de unde se obține valoarea maximă a lungimii arcului măsurat pe coardă, astfel:

$$a = R\sqrt{0{,}024} = 0{,}155R \qquad [m] \qquad (4.20)$$

În practică se consideră că distanța dintre picheți pe curbă trebuie să satisfacă inegalitatea următoare:

$$a \leq 0{,}10R \qquad [m] \qquad (4.21)$$

Trebuie reținut totuși faptul că lungimea arcului nu trebuie să depășească 50 m, chiar dacă valoarea razei este mai mare de 500 m (distanța maximă dintre doi picheți consecutivi în aliniament sau curbă nu trebuie să fie mai mare de 50,00 m).

Cunoscând valorile razei (R) și a arcului dintre doi picheți consecutivi (a) se poate deduce valoarea maximă a unghiului la centru:

$$\theta_{max} = \frac{a}{R} = \frac{0{,}10R}{R} = 0{,}10 \text{ [rad]}, \text{ sau: } \quad \theta_{max} = \frac{0{,}10R}{R} \cdot \frac{200}{\pi} \cong 6 \ [^g] \qquad (4.22)$$

Metoda ordonatelor pe tangentă se folosește frecvent și pentru trasarea curbelor progresive, considerând originea sistemului de axe la începutul curbei de racordare. În acest caz ecuația curbei respective trebuie exprimată în coordonate carteziene.

b. Metoda ordonatelor pe coardă, sau metoda coordonatelor rectangulare pe coardă se aplică atunci când vârful V este inaccesibil (sau nu se poate viza), sau când metoda precedentă dă erori mari din cauza lungimii mari a ordonatelor (y > 20 m), care apar la pichetarea curbelor lungi sau cu unghiul de întoarcere mare. Metoda folosește coarda $\overline{T_iT_e}$ ca abscisă și mijlocul coardei (punctul M') ca origine a sistemului de coordonate (fig. 4.6):

$$MM' = y + y' = R - R\cdot\cos\frac{\alpha}{2} = R\left(1 - \cos\frac{\alpha}{2}\right) \qquad [m] \qquad (4.23)$$

de unde:

$$y = R\left(1 - \cos\frac{\alpha}{2}\right) - y' \qquad [m] \qquad (4.24)$$

Dar din triunghiul dreptunghic OP'P se găsește $y = R - \sqrt{R^2 - x^2}$, cu care relația 4.24 se transformă astfel:

$$y = R\left(1 - \cos\frac{\alpha}{2}\right) - \left(R - \sqrt{R^2 - x^2}\right) \qquad [m] \qquad (4.25)$$

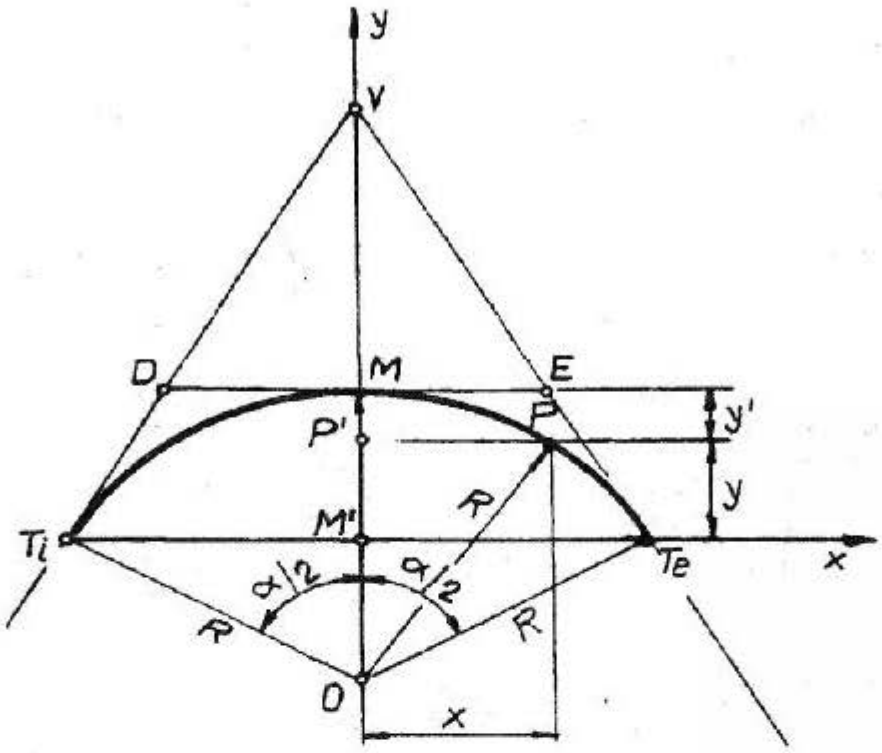


Fig. 4.6. Metoda ordonatelor pe coardă.

Termenul I din expresia lui y are o valoare constantă (săgeata arcului T_iT_e), iar termenul al II-lea se determină uşor cu tabelele folosite în metoda precedentă.

Valoarea lui y se poate calcula şi direct, astfel:

$$y = \overline{MO} - \overline{M'O} - \overline{MP'} \qquad [m] \qquad (4.26)$$

sau:

$$y = R - R\cdot\cos\frac{\alpha}{2} - R + \sqrt{R^2 - x^2} = \sqrt{R^2 - x^2} - R\cdot\cos\frac{\alpha}{2} \qquad [m] \qquad (4.27)$$

Dând lui **x** diferite valori (**abscise egale**) se pot calcula valorile corespunzătoare pentru y.

Relaţia 4.27 se poate deduce şi direct din figura 4.6:

$$y = \overline{OP'} - \overline{OM'} = \sqrt{R^2 - x^2} - R\cdot\cos\frac{\alpha}{2} \qquad [m] \qquad (4.28)$$

Practic se pichetează punctele T_i, T_e, D, E şi M (tangenta auxiliară şi y_{max}), apoi din M' se măsoară spre stânga şi spre dreapta valorile absciselor **x**, după care se ridică ordonatele y corespunzătoare.

c. Metoda sferturilor de săgeată este mai puțin exactă, dar foarte expeditivă și practică. Este necesară cunoașterea săgeții s_1 (segmentul $\overline{MM'}$ din fig. 4.7):

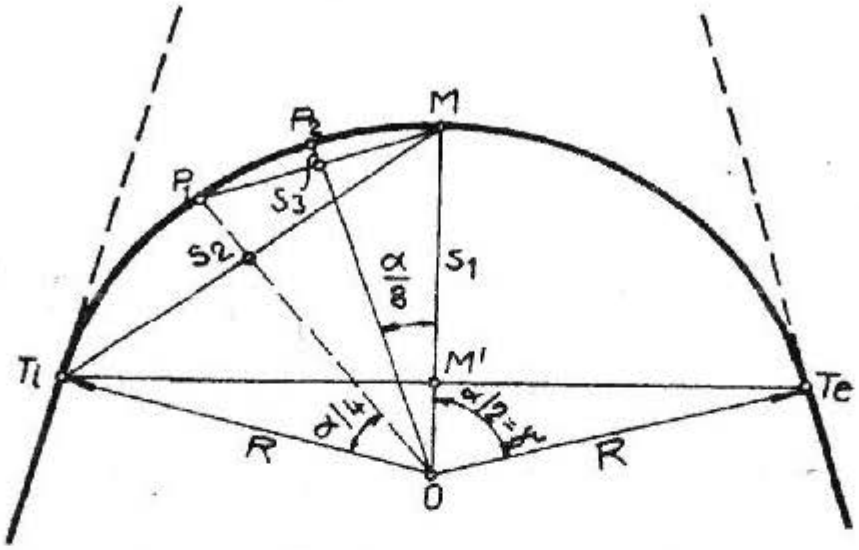


Fig. 4.7. Metoda sferturilor de săgeată.

$$s_1 = R\left(1-\cos\frac{\alpha}{2}\right) = R(1-\cos\gamma) \qquad [m] \qquad (4.29)$$

corespunzător unghiului $\alpha/2$, și analog, pentru unghiul $\alpha/4$ se obține:

$$s_2 = R\left(1-\cos\frac{\alpha}{4}\right) = R\left(1-\cos\frac{\gamma}{2}\right) \qquad [m] \qquad (4.30)$$

Raportul dintre săgețile s_1 și s_2 este:

$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{R(1-\cos\gamma)}{R\left(1-\cos\frac{\gamma}{2}\right)} = \frac{(1-\cos\gamma)}{\left(1-\cos\frac{\gamma}{2}\right)} \qquad [-] \qquad (4.31)$$

sau prin dezvoltarea în serie a funcției **cos** γ:

$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{\frac{\gamma^2}{2!}-\frac{\gamma^4}{4!}+\frac{\gamma^6}{6!}-\frac{\gamma^8}{8!}+\cdots}{\frac{(\gamma/2)^2}{2!}-\frac{(\gamma/2)^4}{4!}+\frac{(\gamma/2)^6}{6!}-\frac{(\gamma/2)^8}{8!}\cdots} \qquad [-] \qquad (4.32)$$

Dacă se neglijează termenii începând cu puterea a 3-a, se deduce relația generală care stă la baza metodei, astfel:

$$\frac{s_1}{s_2} = \frac{\gamma^2}{2} \cdot \frac{2 \cdot 4}{\gamma^2} = 4 \qquad [-] \qquad (4.33)$$

adică:

$$s_2 \cong \frac{s_1}{4} \qquad [m] \qquad (4.34)$$

La fel se poate arăta că:

$$s_3 \cong \frac{s_2}{4} \cong \frac{s_1}{16} \cong 4 s_4 \cong 16 s_5 \cong \cdots \qquad [m] \qquad (4.35)$$

Practic se măsoară mijlocul fiecărei coarde $\overline{T_i T_e}$, apoi $\overline{T_i M}$ şi $\overline{M T_e}$ ş.a.m.d., după care din punctul respectiv se măsoară săgeata calculată cu relaţia 4.35. Procedeul se continuă până la obţinerea numărului de picheţi dorit.

Metoda se foloseşte în terenuri plane, cu unghiul dintre aliniamente deschis şi raza mare.

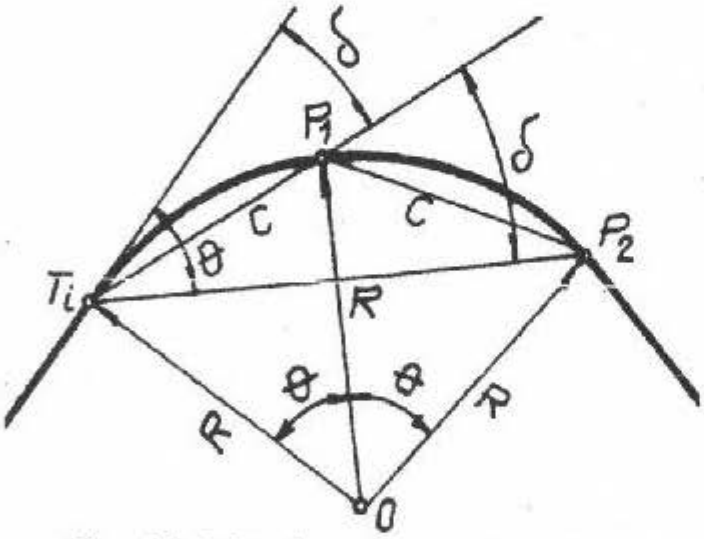


Fig. 4.8. Metoda coordonatelor polare.

d. Metoda coordonatelor polare se foloseşte în terenuri accidentate, când măsurarea lungimilor pe tangentă sau pe coardă este dificilă, dar este asigurată vizibilitatea în lungul lor. Un punct P de pe curbă este definit de raza vectoare **c** şi de unghiul polar $\delta = \theta/2$ (jumătatea unghiului la centru corespunzător).

Mărimile **c** şi δ (fig. 4.8) se stabilesc astfel încât să fie respectate condiţiile impuse prin relaţiile 4.21 şi 4.22.

Unghiul δ se numeşte unghi de circumferinţă sau unghi periferic. Există tabele care dau valoarea unghiurilor periferice δ în funcţie de rază (R = 100...2 000 m) şi lungimea arcului a = 10...100 m. Practic se înscrie pe aparatul fixat în T_i (sau T_e) unghiul δ şi se măsoară cu panglica coarda s = c, obţinându-se punctul P_1.

Pentru punctul P_2, se dă viză (tot din T_i, respectiv T_e) cu unghiul $2\delta = \theta$. Intersecţia vizei sub unghiul 2δ cu panglica întinsă din P_1 cu distanţa **a** = c, defineşte punctul P_2. Pentru P_3 se vizează cu 3δ, măsurându-se din P_2 distanţa **a** = c ş.a.m.d. Polul rămâne tot timpul T_i (sau T_e) iar dreapta orientată (direcţia de la care se măsoară unghiurile) direcţia aliniamentului.

Cu cât punctele se depărtează de T_i (sau T_e), cu atât precizia pichetărilor scade pentru că erorile se cumulează, motiv pentru care se recomandă ca pichetarea să se facă pornind din ambele puncte de tangență, iar la curbele lungi și din mijlocul arcului (M). De asemenea, se poate proceda la mutarea aparatului, după 5...6 vize, în unul din picheți, după care se vizează înapoi spre T_i (sau T_e) pe direcția **0 - 200** ^{g} și se continuă pichetarea (la optarea pentru acest procedeu nu se va uita că erorile de așezare a aparatului în stație se cumulează peste erorile de măsurare).

e. Metoda ordonatelor pe prelungirea coardei este indicată în zonele înguste de teren, unde lucrările de trasare trebuie să se desfășoare în apropierea curbei de racordare.

Pichetul P_1 (fig. 4.9) se marchează prin metoda coordonatelor rectangulare pe tangentă (metoda cu arce egale), deci folosind tabelele corespunzătoare, sau se determină prin relațiile:

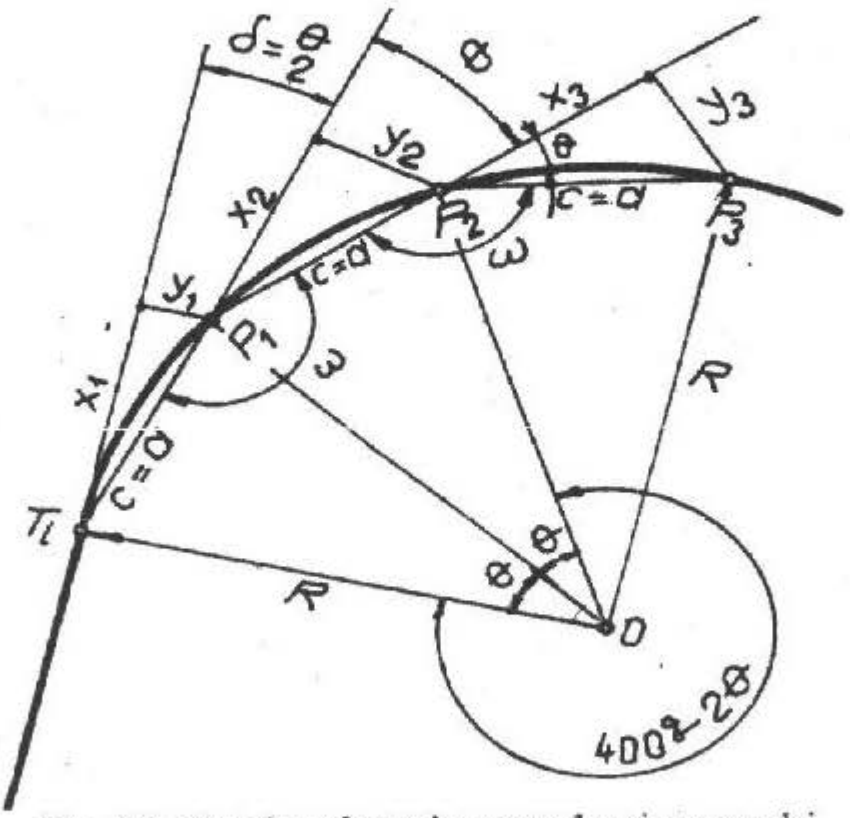


Fig. 4.9. Metoda ordonatelor pe prelungirea coardei.

$$x_1 = a \cdot \cos\delta \qquad [m] \qquad (4.36)$$

$$y_1 = a \cdot \sin\delta \qquad [m] \qquad (4.37)$$

în care valorile lui **a** și δ trebuie să respecte condițiile impuse prin relațiile 4.21 și 4.22, astfel încât erorile introduse prin măsurătorile efectuate pe teren să nu fie mai mari decât cele admise.

Pichetul P_2 se defineşte prin coordonatele lui rectangulare (x_2 şi y_2), luate faţă de prelungirea coardei $\overline{T_i P_1}$, iar P_3 în continuare la fel prin coordonatele rectangulare x_3 şi y_3:

$$x_2 = a \cdot \cos\theta \quad [m] \quad (4.38)$$

$$y_2 = a \cdot \sin\theta \quad [m] \quad (4.39)$$

$$x_3 = a \cdot \cos\theta = x_2 \quad [m] \quad (4.40)$$

$$y_3 = a \cdot \sin\theta = y_2 \quad [m] \quad (4.41)$$

deoarece de fiecare dată unghiul $\omega = 1/2 \cdot (400 - 2\theta) = 200 - \theta$.

Pentru celelalte puncte (P_3, P_4,...), valorile coordonatelor se menţin aceleaşi.

Metoda este simplă şi expeditivă, dar erorile sunt transmisibile şi deci nu se poate folosi decât la lucrări mai puţin pretenţioase.

f. Metoda poligonului coardelor este folosită în cazul debleurilor mari unde nu există vizibilitate. Metoda este asemănătoare cu cea a coordonatelor polare, numai că teodolitul trebuie deplasat în fiecare punct.

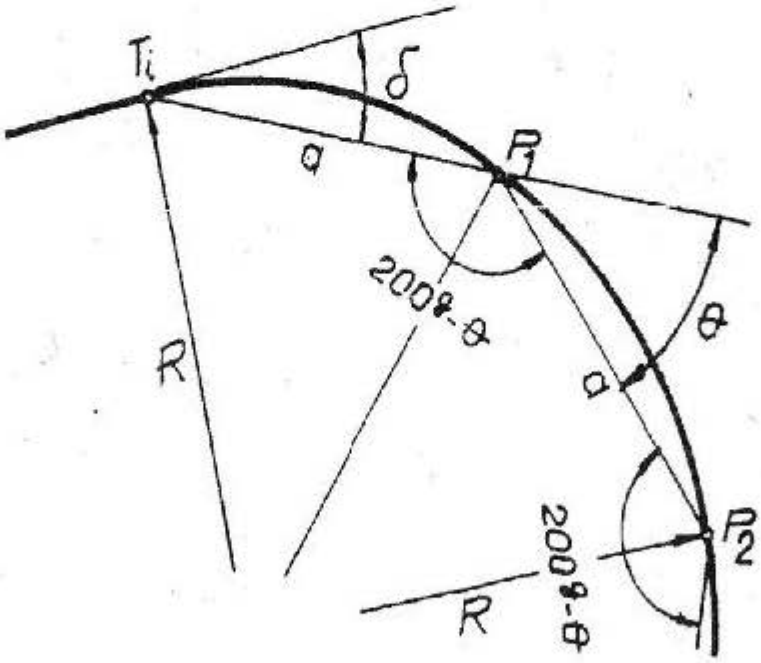


Fig. 4.10. Metoda poligonului coardelor.

Din fiecare punct se vizează punctul precedent şi se înscrie în aparat unghiul $200^g + \theta$ sau $200^g - \theta$ şi pe direcţia respectivă se măsoară lungimea arcului **a**.

Mărimile **a** şi δ se stabilesc astfel încât condiţiile impuse prin relaţiile 4.21 şi 4.22 să fie îndeplinite.

g. Metoda tangentelor succesive permite trasarea curbelor din aproape în aproape, pe porțiuni mici, în terenuri acoperite, printre clădiri, tuneluri în curbă, debleuri adânci etc. Curba se împarte în mai multe curbe mici, având la centru unghiul **α/2, α/4, α/8** etc. (fig. 4.11) și deci toate elementele caracteristie reduse ca atare.

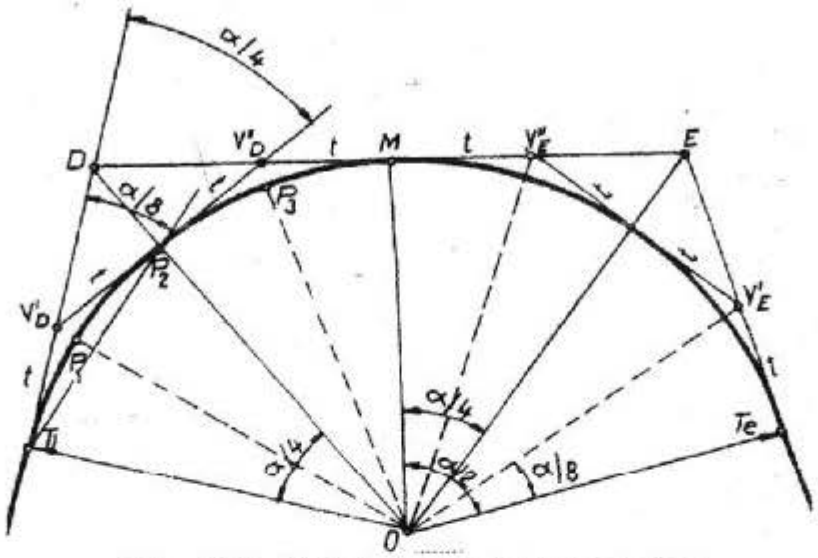


Fig. 4.11. Metoda tangentelor succesive.

Se calculează de exemplu lungimea tangentelor corespunzătoare unghiului la centru egal cu **α/4** în felul următor:

$$\overline{T_i V_D'} - \overline{V_D' P_2} - \overline{P_2 V_D''} = \cdots = R \cdot \operatorname{tg}\frac{\alpha}{8} = t \qquad [m] \qquad (4.42)$$

Din punctul T_i se măsoară pe direcția tangentei valoarea **t** și se obține V'_D, apoi se introduce în aparat unghiul **α/8** și pe direcția respectivă se măsoară din V'_D, aceeași distanță t, obținându-se punctul P_2. Aparatul se mută apoi în punctul P_2 și operația se reîncepe, obținându-se punctele P_4, P_6, ș.a.m.d.

Aparatul se poate fixa și în vârfurile V'_D (respectiv V''_D etc.), din fiecare vârf ajutător fixându-se două sau trei puncte pe curbă și vârful următor (de exemplu, din V'_D se pot fixa punctele P_2, P_1 (prin măsurarea bisectoarei $\overline{V_D' P_1}$) și vârful următor V''_D (cu unghiul **α/4** și distanța **2t**). Punctele pe curbă se pot înmulți la nevoie, înjumătățindu-se distanța dintre vârfurile secundare.

h. Metoda prin intersecții necesită două teodolite instalate, de regulă, în T_i și T_e și doi operatori. Un punct P_i al curbei se obține la intersecția vizelor date din T_i și T_e sub unghiurile φ_i și φ'_i care satisfac condiția:

$$\varphi_i + \varphi_i' = \frac{\alpha}{2} = \text{constant} \qquad [^g] \qquad (4.43)$$

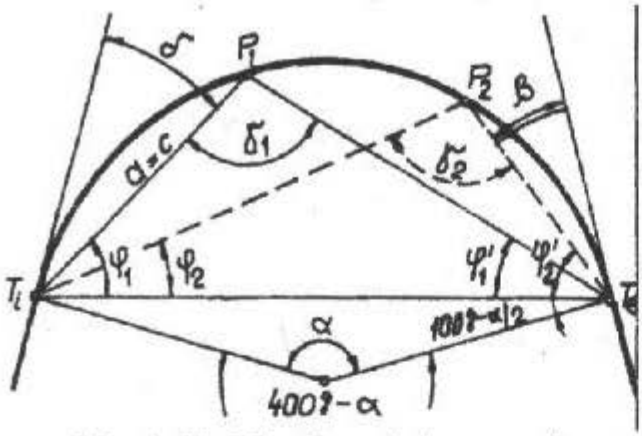


Fig. 4.12. Metoda prin intersecții.

pentru că, de exemplu pentru pichetul P_1 (fig. 4.12), există relația:

$$\varphi_1 + \varphi_1' + \gamma_1 = 200^g \qquad (4.44)$$

dar din fig. 4.12 rezultă că:

$$\gamma_1 = \frac{1}{2}\left(400^g - \alpha\right) = 200^g - \frac{\alpha}{2} \qquad (4.45)$$

Rezultă că relația 4.44 poate fi scrisă în felul următor:

$$\varphi_1 + \varphi_1' + 200^g - \frac{\alpha}{2} = 200^g \quad \text{deci:} \quad \varphi_1 + \varphi_1' = \frac{\alpha}{2} \quad [^g] \qquad (4.46)$$

În pichetul T_e (fig. 4.12) aceeași relație se poate fi dedusă astfel:

$$100^g - \frac{\alpha}{2} + \varphi_2' + \beta = 100^g \qquad (4.47)$$

Dar $\beta = \varphi_2$ (pe cerc și subîntind același arc P_2T_e), rezultând:

$$100^g - \frac{\alpha}{2} + \varphi_2' + \varphi_2 = 100^g \quad \text{sau:} \quad \varphi_2' + \varphi_2 = \frac{\alpha}{2} \quad [^g] \qquad (4.48)$$

Unghiurile φ_1, φ_2, ... (și respectiv $\alpha/2 - \varphi_1$, $\alpha/2 - \varphi_2$, ...) etc., trebuie astfel alese încât să nu se depășească valorile **a**, respectiv valorile δ obținute cu relațiile 4.21 și 4.22.

De multe ori, în terenuri accidentate, nu se poate aplica o singură metodă pentru trasarea întregii curbe, recurgându-se la o combinare a diverselor metode, în funcție de condițiile locale.

4.5. Racordări cu vârf inaccesibil

În cazul traseelor care se desfășoară în terenuri accidentate, cu defilee și stânci, în zone locuite, în păduri etc. se întâmplă frecvent ca vârful curbei de racordare să cadă într-un loc practic inaccesibil și deci să nu poată fi vizat direct. În astfel de situații, determinarea unghiului dintre aliniamente β și implicit a unghiului de întoarcere α nu se poate face în mod direct, ci numai prin intermediul unor unghiuri măsurate în anumite puncte alese arbitrar dar accesibile pentru proiectant (fig. 4.13). Punctele alese arbitrar de proiectant se numesc vârfuri ajutătoare (V_1'; V_1''; V_1''', respectiv V_2'; V_2'' din fig. 4.13).

Vârfurile ajutătoare trebuie să fie cât mai puține întrucât calculele devin mai laborioase pe măsura creșterii numărului lor.

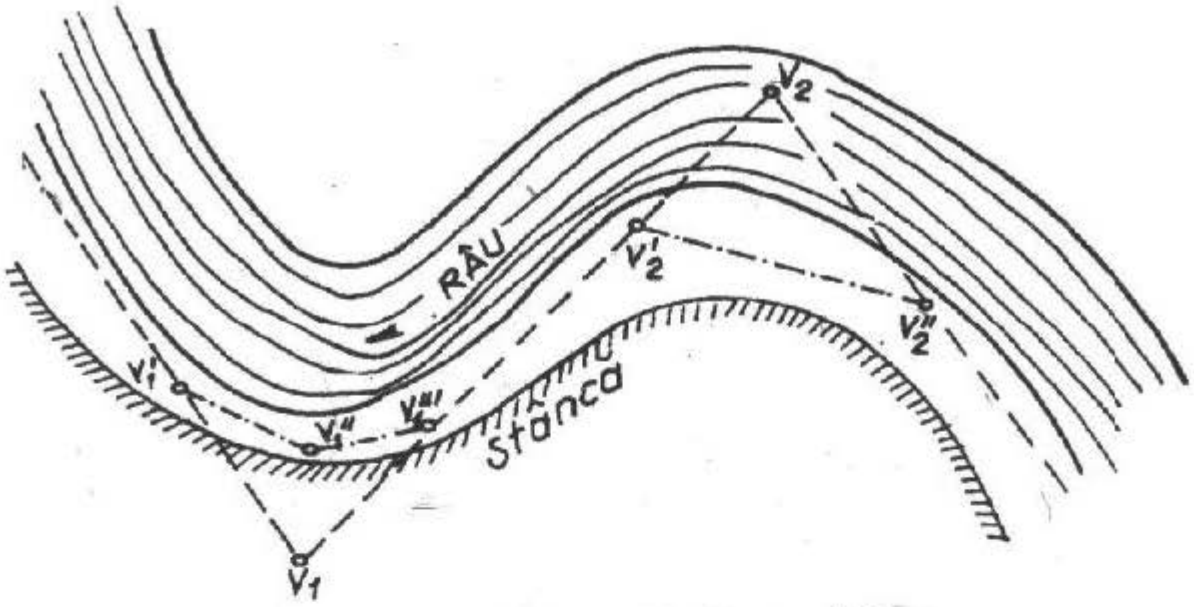


Fig. 4.13. Traseu cu vârfuri inaccesibile.

Rezolvarea problemei se face într-un anumit mod dacă sunt numai două vârfuri ajutătoare (un singur aliniament ajutător) sau dacă sunt cel puțin trei puncte ajutătoare (cel puțin două aliniamente ajutătoare).

a. Cazul cu un singur aliniament ajutător se rezolvă pornind de la alegerea vârfurilor ajutătoare V_1 și V_2 astfel încât din acestea să existe vizibilitate pe aliniamentul corespunzător fiecăruia și pe aliniamentul ajutător $\overline{V_1V_2}$ (fig. 4.14).

În aceste condiții unghiurile δ_1 și δ_2 se pot măsura, iar unghiurile α_1; α_2; α; β; γ_1 și γ_2 se pot deduce prin calcule astfel:

$$\alpha_1 = 200 - \delta_1 \qquad [^g] \qquad (4.49)$$

$$\alpha_2 = 200 - \delta_2 \qquad [^g] \qquad (4.50)$$

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2 \qquad [^g] \qquad (4.51)$$

$$\beta = 200 - \alpha \qquad [^g] \qquad (4.52)$$

$$\gamma_1 = 200 - \left(\alpha_1 + \frac{\beta}{2}\right) \qquad [^g] \qquad (4.53)$$

$$\gamma_2 = 200 - \left(\alpha_2 + \frac{\beta}{2}\right) \qquad [^g] \qquad (4.54)$$

În continuare, pe baza teoremei sinusurilor și luând în considerare faptul că lungimea L a aliniamentului ajutător $\overline{V_1V_2}$ se determină pe teren, se poate trece la calculul laturilor triunghiurilor V_1MV și MVV_2, după cum urmează:

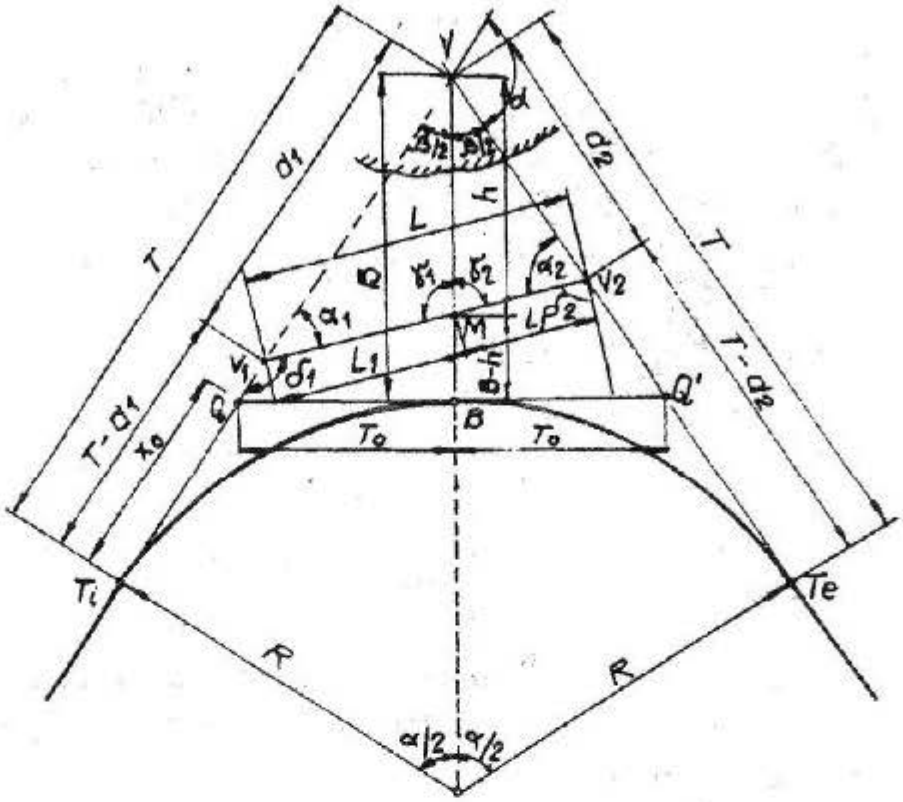


Fig. 4.14. Rezolvarea vârfului inaccesibil cu un singur aliniament ajutător.

$$a_1 = \frac{\sin\alpha_2}{\sin\beta} \cdot L \qquad [m] \qquad (4.55)$$

$$a_2 = \frac{\sin\alpha_1}{\sin\beta} \cdot L \qquad [m] \qquad (4.56)$$

$$h = \frac{\sin\alpha_1}{\sin\gamma_1} \cdot a_1 = \frac{\sin\alpha_2}{\sin\gamma_2} \cdot a_2 \qquad [m] \qquad (4.57)$$

$$L_1 = \frac{\sin\frac{\beta}{2}}{\sin\gamma_1} \cdot a_1 = \frac{\sin\frac{\beta}{2}}{\sin\alpha_1} \cdot h \qquad [m] \qquad (4.58)$$

$$L_2 = \frac{\sin\frac{\beta}{2}}{\sin\gamma_2} \cdot a_2 = \frac{\sin\frac{\beta}{2}}{\sin\alpha_2} \cdot h \qquad [m] \qquad (4.59)$$

Pentru verificarea exactității calculelor se recomandă operațiile:

$$\gamma_1 + \gamma_2 = 200 \qquad [^g] \qquad (4.60)$$

$$L_1 + L_2 = L \qquad [m] \qquad (4.61)$$

Cunoscând unghiurile α şi β se pot calcula elementele racordării (T; B; C), iar poziţia picheţilor T_i; T_e şi B se determină ţinând seama de lungimea aliniamentelor ajutătoare $\mathbf{a_1}$ şi $\mathbf{a_2}$, respectiv a segmentului de bisectoare $\overline{VM} = h$ astfel:

$$\overline{V_1T_i} = T - a_1 \qquad [m] \qquad (4.62)$$

$$\overline{V_2T_e} = T - a_2 \qquad [m] \qquad (4.63)$$

$$\overline{MB} = B - h \qquad [m] \qquad (4.64)$$

Având materializaţi picheţii T_i şi T_e se poate trece la stabilirea poziţiei picheţilor de pe curbă cu una din metodele descrise anterior.

b. Cazul cu mai multe aliniamente ajutătoare se rezolvă pornind de la poziţia punctelor ajutătoare stabilite de proiectant astfel încât între două puncte consecutive să existe vizibilitate (fig. 4.15).

Cunoscând unghiurile interioare aliniamentelor ajutătoare, care se măsoară pe teren sau pe planul de situaţie, se pot determina prin calcule unghiurile α_1; γ_2; γ_3 şi γ_4 ca unghiuri suplimentare. In continuare celelalte unghiuri din fig. 4.15 rezultă astfel:

$$\gamma_1 = \alpha_1 \qquad [^g] \qquad (4.65)$$

$$\alpha_2 = \alpha_1 + \gamma_2 \qquad [^g];\ \text{sau:}\ \alpha_2 = \gamma_1 + \gamma_2 \qquad [^g] \qquad (4.66)$$

$$\alpha_3 = \alpha_2 + \gamma_3 \qquad [^g];\ \text{sau:}\ \alpha_3 = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 \qquad [^g] \qquad (4.67)$$

$$\alpha_4 = \alpha_3 + \gamma_4 \qquad [^g];\ \text{sau:}\ \alpha_4 = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 + \gamma_4 \qquad [^g] \qquad (4.68)$$

$$\alpha = \alpha_4 \qquad [^g]\ \text{şi:}\ \beta = 200 - \alpha \qquad [^g] \qquad (4.69)$$

Cu ajutorul lungimilor aliniamentelor ajutătoare L_1; L_2 şi L_3 şi a unghiurilor de deviere γ_1; γ_2; γ_3 şi γ_4, aplicând teorema sinusurilor (vezi cazul **a**) în triunghiurile $V_1V_2V_2'$; $V_2'V_3V_3'$ şi $V_3'V_4V$, se obţin distanţele următoare:

- $\overline{V_1V_2'}$ şi $\overline{V_2V_2'}$ din triunghiul $V_1V_2V_2'$, fiind cunoscută distanţa $\overline{V_1V_2}$;
- $\overline{V_2'V_3'}$ şi $\overline{V_3'V_3}$ din triunghiul $V_2'V_3V_3'$, fiind cunoscută distanţa $\overline{V_2'V_3}$;
- $\overline{V_3'V}$ şi $\overline{VV_4}$ din triunghiul $V_3'V_4V$, fiind cunoscută distanţa $\overline{V_3'V_4}$.

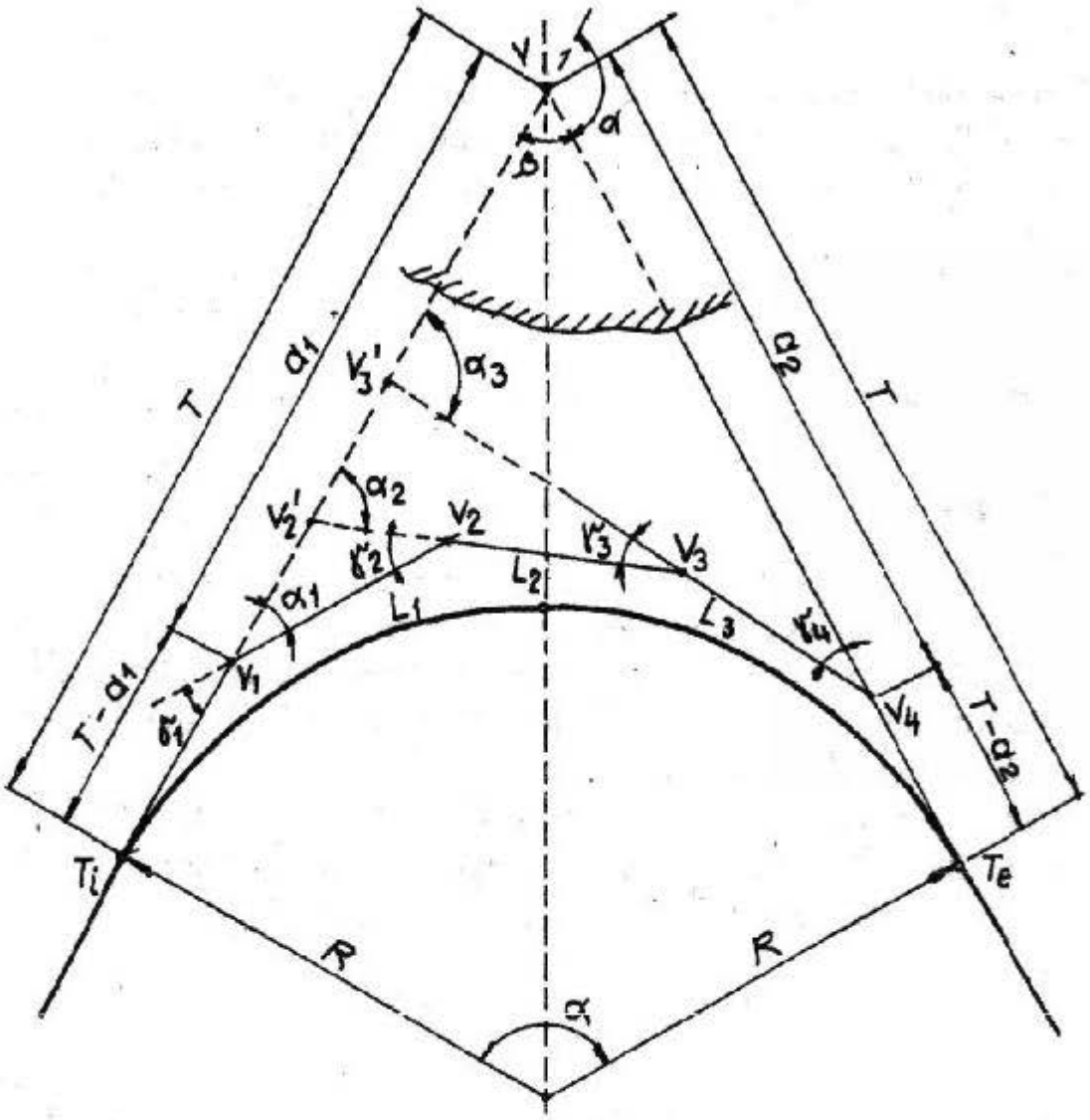


Fig. 4.15. Rezolvarea vârfului inaccesibil prin mai multe aliniamente ajutătoare.

În continuare se pot calcula distanțele următoare:

$$a_1 = \overline{V_1V_2'} + \overline{V_2'V_3'} + \overline{V_3'V} \quad [m] \quad (4.70)$$

$$a_2 = \overline{VV_4} \quad [m] \quad (4.71)$$

Pichetarea punctelor de tangență (T_i și T_e) se face măsurând direct distanțele T - a_1, respectiv T - a_2 pe direcția aliniamentelor principale.

5. CURBE PROGRESIVE

Curbele progresive, spre deosebire de arcul de cerc, au raza de curbură variabilă în lungul arcului. Curbele progresive se mai numesc şi radioide.

Pentru utilizarea în proiectarea căilor de comunicaţie terestre a curbelor progresive este necesară cunoaşterea ipotezelor de folosire şi a relaţiilor de calcul care să permită realizarea diferitelor tipuri de racordări, funcţie de condiţiile locale şi de exigenţele impuse traseului proiectat.

5.1. Necesitatea introducerii curbelor progresive

Dacă se consideră un vehicul de masă m care circulă într-o curbă de rază variabilă ρ cu viteza v, atunci pentru un interval de timp Δt se obţin poziţiile vehiculului M şi M' (fig. 5.1).

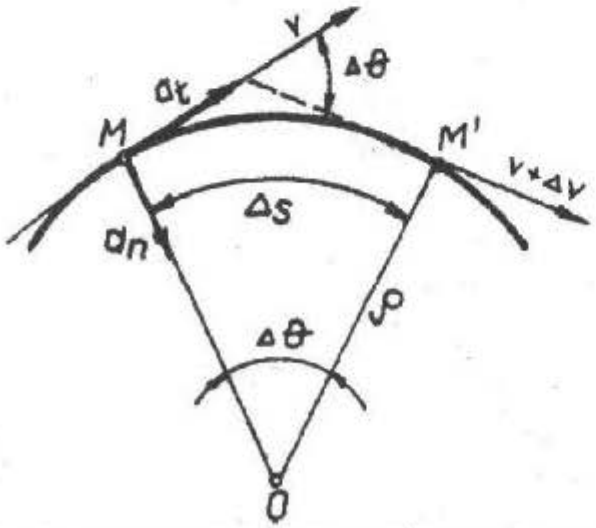


Fig. 5.1. Acceleraţiile care acţionează asupra vehiculului în curbă.

În aceste condiţii acceleraţia tangenţială (a_t) şi acceleraţia normală (a_n) se obţin prin proiecţia pe direcţia tangentă şi direcţia normală la curbă în punctul M în felul următor:

- acceleraţia tangenţială:

$$a_t = \lim_{t\to 0}\frac{(v+\Delta v)\cos\Delta\theta - v}{\Delta t} =$$

$$= \frac{v+dv-v}{dt} = \frac{dv}{dt} \qquad (5.1)$$

- acceleraţia normală:

$$a_n = \lim_{t\to 0} \frac{(v+\Delta v)\sin\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{(v+dv)d\theta}{dt} = v\cdot\frac{d\theta}{dt} + \frac{dv\cdot d\theta}{dt} \qquad (5.2)$$

Relaţiile finale rezultă pe baza considerentului că pentru unghiuri $\Delta\theta$ foarte mici: $\Delta t \to dt$; $\Delta v \to dv$; $\Delta\theta \to d\theta$; $\cos d\theta \cong 1$ şi $\sin d\theta \cong d\theta$.

Având în vedere că arcul MM' este foarte mic, se poate considera că arcul de radioidă are raza ρ pe toată lungimea, fapt care permite să se scrie $ds = \rho \cdot d\theta$. Neglijând termenul al doilea din relaţia 5.2, relaţia acceleraţiei normale devine:

$$a_n = v\cdot\frac{d\theta}{dt} = v\cdot\frac{ds}{dt}\cdot\frac{1}{\rho} = \frac{v^2}{\rho} \qquad [m/s^2] \qquad (5.3)$$

Analizând relaţiile 5.1 şi 5.3 se pot trage următoarele concluzii:

- acceleraţia tangenţială este identică cu cea din mişcarea rectilinie (variaţia vitezei în unitatea de timp), numai că îşi schimbă direcţia;
- acceleraţia normală este caracteristică mişcărilor curbe şi este proporţională cu pătratul vitezei şi invers proporţională cu raza instantanee (ρ). Acceleraţia normală apare ca urmare a forţei centripete ($F_{cnt} = mv^2/\rho$) care obligă vehiculul să se menţină pe curba dată şi care este egală şi de sens contrar cu forţa centrifugă.

Rezultă că în curbe, acceleraţia tangenţială nu ridică probleme, dar acceleraţia normală, dirijată spre exteriorul curbei, are valori semnificative, cu atât mai mari cu cât raza curbei este mai mică şi viteza vehiculului mai mare. Acceleraţia normală este egală cu acceleraţia centripetă şi tinde să scoată vehiculul de pe traiectoria curbă, spre exterior.

În cazul racordării aliniamentelor numai cu un arc de cerc, tangent la aliniamente în punctele T_i şi T_e (curba primitivă din fig. 5.2), curbura (1/R) şi acceleraţia normală (v^2/R) apar brusc la intrarea în curbă (T_i), dispar la fel de brusc la ieşirea din curbă (T_e) şi se menţin constante pe lungimea racordării (fig. 5.2.a). În aceste condiţii, la intrarea şi ieşirea din curbă, vehiculul şi calea resimt şocuri importante, confortul şi comoditatea călătorilor, stabilitatea mărfurilor transportate şi chiar securitatea circulaţiei sunt afectate.

Curbele progresive, intercalate între aliniament şi curba centrală arc de cerc, au rolul să diminueze dificultăţile sus-menţionate. Dacă raza de curbură variază liniar cu lungimea curbei progresive (de exemplu pentru clotoidă) atunci variaţia curburii ($1/\rho$) şi implicit, la o viteză constantă, a acceleraţiei normale (v^2/ρ) este cea prezentată în fig. 5.2.b.

Astfel, de-a lungul curbei progresive (arcul O_iS_i), curbura creşte liniar de la valoarea zero la valoarea 1/R şi se menţine constantă pe lungimea arcului de cerc. Pe lungimea arcului de curbă progresivă S_eO_e, curbura se micşorează liniar de la valoarea 1/R la valoarea zero.

În special la calea ferată, s-au studiat racordări şi mai evoluate, pentru care la extremităţile radioidelor (în zona punctelor O_i, S_i, S_e şi O_e) frânturile din diagrama curburii sunt înlocuite prin variaţii curbilinii (fig. 5.2.c). În aceste condiţii, curbura are o variaţie mai convenabilă şi deci circulaţia este mai sigură şi mai confortabilă. Curbele progresive folosite la calea ferată sunt parabola cubică (variaţia curburii este liniară pe lungimea radioidei), parabola de gradul 4 (variaţia curburii de gradul 2, sub forma de S, vezi fig. 5.2.c), funcţii de grad superior (> 5), funcţia sinusoidală. De regulă, pentru viteze de până la 120 km/h se utilizează parabola cubică, pentru V = 120...200 km/h se utilizează parabola de gradul 4, iar pentru viteze mai mari de 200 km/h se impune utilizarea unei curbe de grad superior.

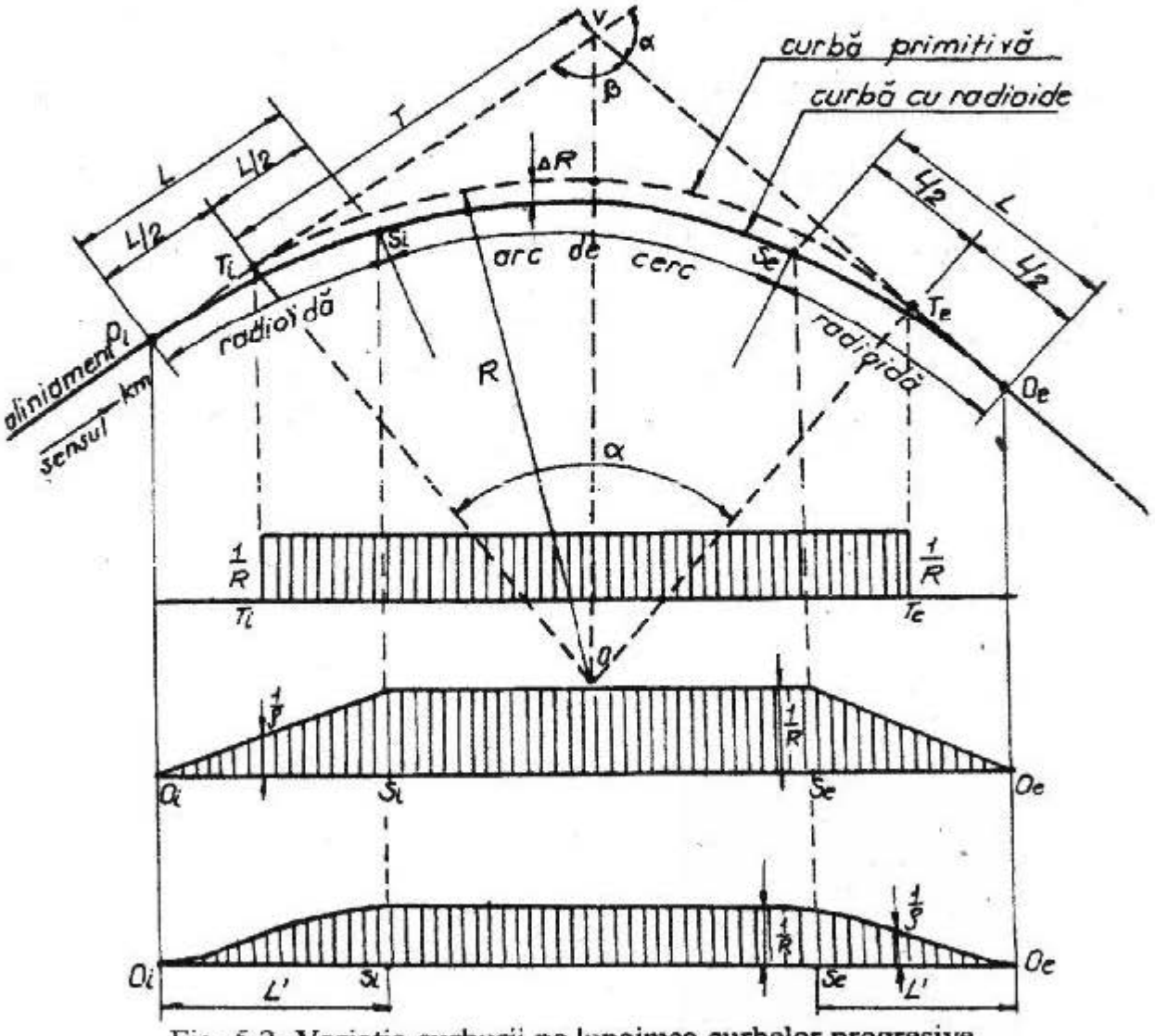


Fig. 5.2. Variaţia curburii pe lungimea curbelor progresive.

La calea ferată, utilizarea unor radioide mai pretenţioase decât la drumuri este impusă şi de modul de desfăşurare a circulaţiei. Astfel, la drumuri urmărirea

unei anumite curbe rămâne la latitudinea şoferului, care pentru a uşura înscrierea pe traiectorie poate să dirijeze vehiculul spre interiorul curbei. De asemenea, roţile directoare ale vehiculelor rutiere se rotesc treptat, o dată cu rotirea volanului, până ce unghiul de rotire corespunde razei şi centrului de rotaţie. Ideal este ca la o viteză constantă a vehiculului şi la o rotire constantă a volanului traseul autovehiculului să corespundă cu ecuaţia curbei progresive. Totuşi, în practică, viteza vehiculului este adesea variabilă (decelerare în timpul virajului) şi deci condiţiile impuse curbelor progresive nu mai sunt valabile, iar traiectoria descrisă de vehicul nu mai este o radioidă.

Utilizarea curbelor progresive, la drumuri şi calea ferată, este justificată şi din punctul de vedere al amenajării profilului transversal în curbă. Realizarea acestor amenajări (supralărgirea şi supraînălţarea profilului transversal) se efectuează în mare parte pe lungimea radioidelor, urmând ca pe lungimea curbei circulare profilul transversal să nu se schimbe.

5.2. Condiţii impuse curbelor progresive

Pentru a fi utilizate la racordarea aliniamentelor, curbele progresive trebuie să îndeplinească următoarele condiţii:

- **geometrice**, care se referă în principal la următoarele aspecte (fig. 5.3):

• radioida trebuie să fie tangentă la aliniament în punctul O_i (respectiv O_e), adică acolo unde raza de curbură este infinită, abscisa negativă fiind reprezentată de aliniamentul care se racordează;

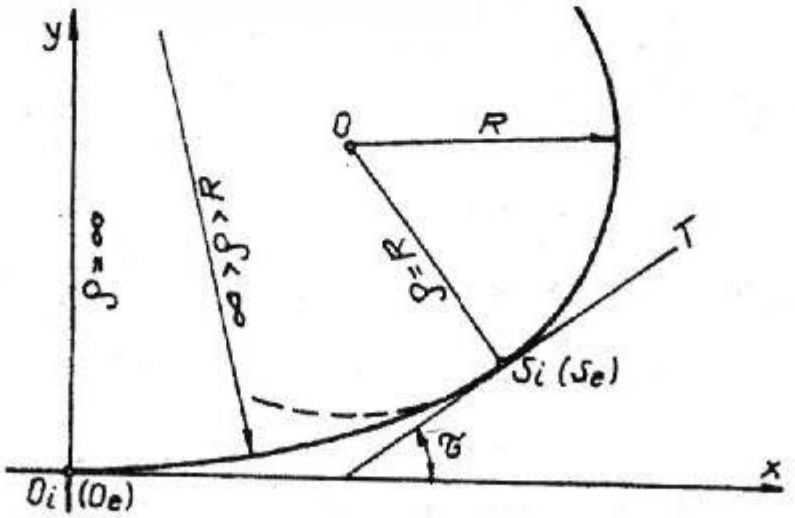


Fig. 5.3. Condiţii geometrice pentru curbele progresive.

• raza de curbură (ρ) descreşte treptat şi uniform de-a lungul curbei progresive până la valoarea $\rho = R$, egală cu raza de curbură a arcului de cerc (punctul S_i, respectiv S_e);

• în punctul S_i, respectiv S_e, arcul de racordare progresivă şi arcul de cerc au o tangentă comună, iar centrele lor de curbură coincid (contactul dintre cele două curbe este de ordinul doi);

- **mecanice**, care sunt reprezentate în principal prin condiţia ca acceleraţia normală (v^2/ρ) să varieze în timp după o anumită lege (vezi pct. 5.4).

Introducerea unui arc de curbă progresivă între aliniament şi arcul de cerc necesită deplasarea cercului spre interiorul curbei cu mărimea **ΔR** (fig. 5.4 şi fig. 5.5) reprezentând **deplasarea arcului de cerc** (impropriu mărimea **ΔR** se numeşte **strămutarea tangentei**). Cantitatea ΔR poate atinge valori de câţiva metri, pentru raze de racordare mici.

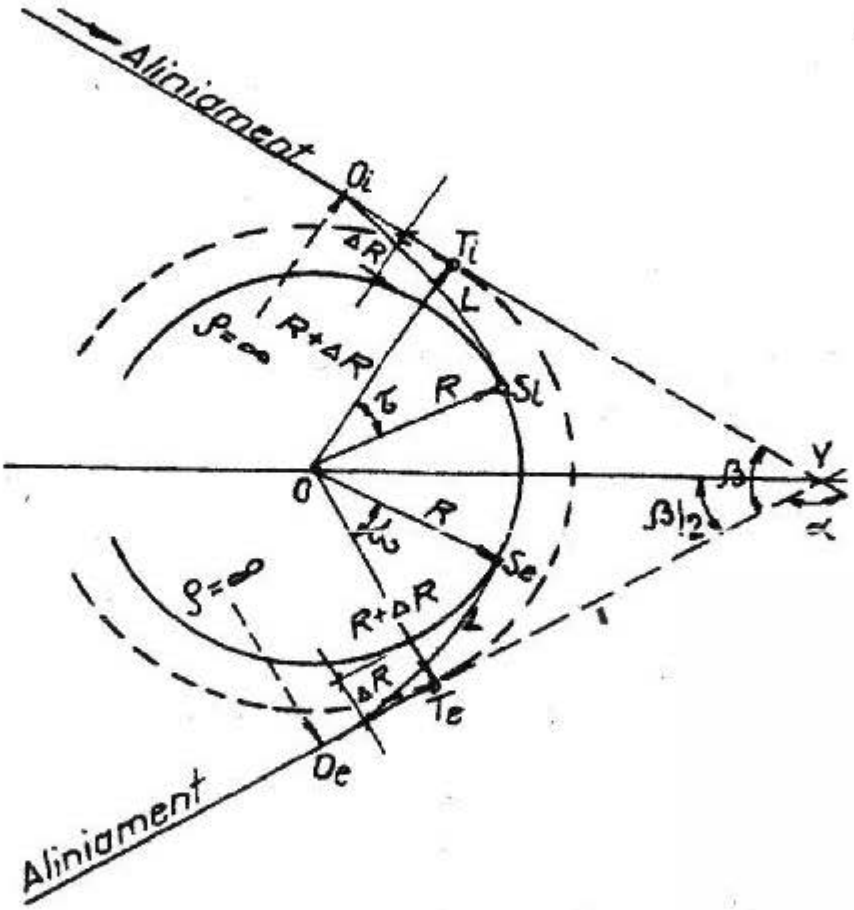


Fig. 5.4. Introducerea curbelor progresive prin păstrarea centrului racordării.

Deplasarea cercului se poate realiza în două moduri:

- prin menţinerea centrului racordării, care este soluţia recomandată de actualele norme româneşti (fig. 5.4). În acest caz, întrucât raza curbei principale scade de la valoarea iniţială **R** (raza arcului primitiv) la valoarea **R - ΔR**, deci cu diminuarea condiţiilor de siguranţă şi confort, se poate prevedea la început o rază

mai mare (de exemplu **R + ΔR**), astfel încât prin introducerea curbei progresive să se ajungă la valoarea dorită (R);

- prin menținerea valorii razei de curbură și deplasarea centrului cercului spre interior, în lungul bisectoarei unghiului β dintre aliniamente (fig.5.5). În acest caz, tangentele teoretice T_{i1} și T_{e1} se deplasează în T_{i2} și T_{e2}, iar începutul racordării (punctele O_i și O_e) se depărtează față de vârful V.

Folosirea curbelor progresive implică deci o deplasare a traiectoriei vehiculelor spre interiorul racordării cu o cantitate **ΔR**. La drumuri, deplasarea vehiculelor spre interiorul curbei se poate produce și la racordările arc de cerc, numai că, pentru raze mari, această deplasare este de ordinul decimetrilor, deci posibilă fără părăsirea benzii de circulație. La curbele cu raze mici deplasarea necesară ar fi de ordinul metrilor, ceea ce nu s-ar mai putea efectua fără părăsirea benzii de circulație.

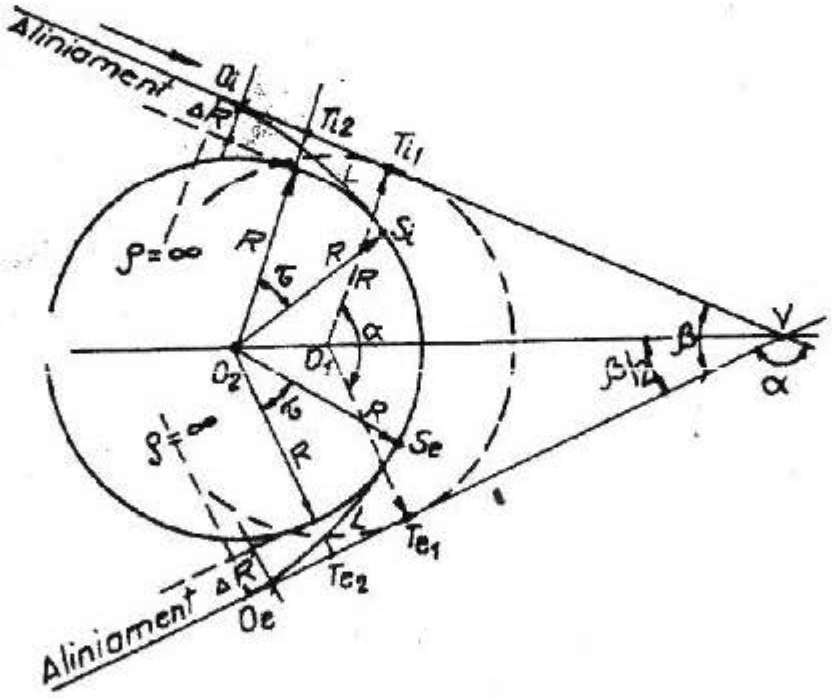


Fig. 5.5. Introducerea curbei progresive prin menținerea razei racordării.

Pe de altă parte trebuie reținut faptul că introducerea unei curbe progresive presupune consumarea unei jumătăți din lungimea acesteia din aliniamentul inițial și a celeilalte jumătăți din lungimea arcului de cerc primitiv. Deci prin introducerea curbei progresive, arcul de cerc primitiv se micșorează cu lungimea unei clotoide (L), cu observația că lungimea sa nu trebuie să scadă sub valoarea spațiului parcurs de vehicul timp de 1 s, adică V/3,6.

Standardele în vigoare prevăd lungimea minimă a arcului de cerc central, funcție de viteza de proiectare (vezi tabelul 6.1).

5.3. Tipuri de curbe progresive

Curbele progresive folosite în mod curent la racordarea aliniamentelor de căi de comunicație terestre sunt: parabola cubică, lemniscata și clotoida.

a. Parabola cubică (fig. 5.6) are curbura $(1/\rho)$, în orice punct de pe lungimea sa, proporțională cu abscisa **x** a punctului respectiv:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{x}{k_1} \quad \text{sau: } \rho \cdot x = k_1 \tag{5.4}$$

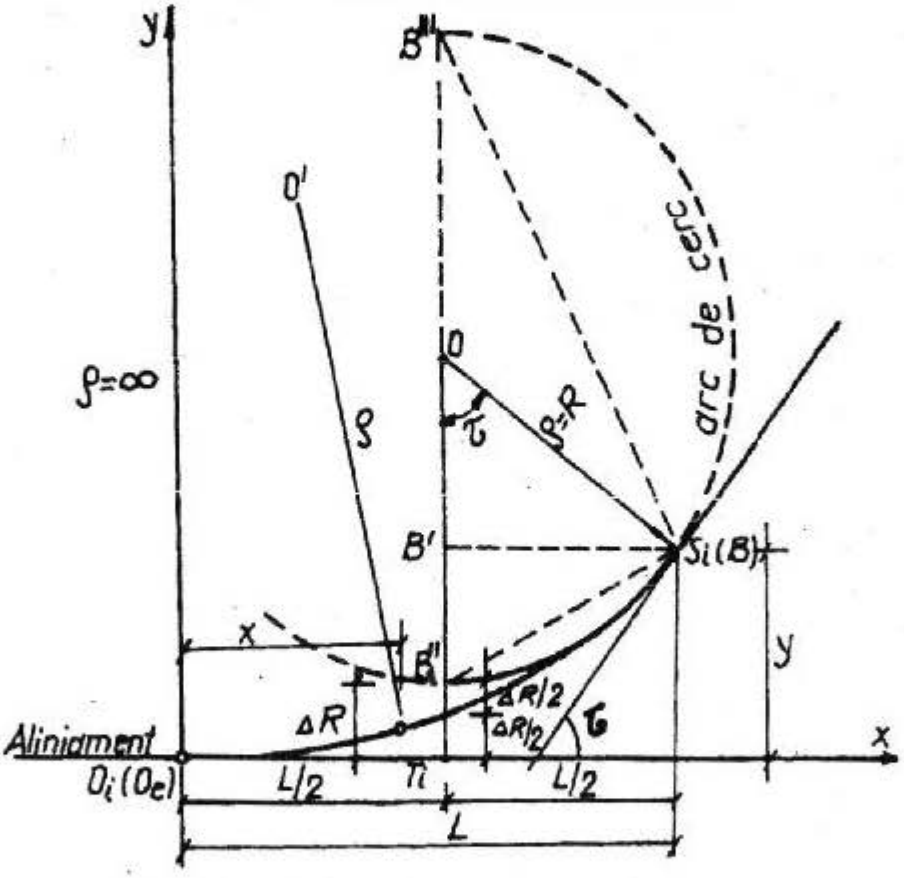


Fig. 5.6. Racordarea cu parabolă cubică.

Parabola cubică este mai răspândită la proiectarea curbelor de cale ferată, decât la drumuri.

Expresia parabolei cubice și unele din proprietățile acesteia se vor prezenta succint în continuare.

Ecuația parabolei cubice se deduce pornind de la ecuația curburii în coordonate carteziene, care are expresia următoare:

$$\frac{1}{\rho}=\frac{\dfrac{d^2y}{dx^2}}{\left[1+\left(\dfrac{dy}{dx}\right)^2\right]^{3/2}}=\frac{y''}{\left(1+y'^2\right)^{3/2}} \qquad (5.5)$$

Deoarece termenul y' este foarte mic, ridicat la pătrat se poate neglija. În aceste condiții, expresia curburii devine:

$$\frac{1}{\rho}=\frac{d^2y}{dx^2}=y'' \qquad (5.6)$$

Dacă se acceptă ca variația curburii să fie liniară în lungul parabolei cubice, atunci se poate scrie:

$$\frac{1}{\rho}=y''=ax+b \qquad (5.7)$$

Dar pentru x = 0, curbura este zero (fig. 5.6) şi deci b = 0.

În concordanță cu a doua condiție de margine (ρ = R şi x ≅ L), coeficientul $a=\frac{1}{RL}$.

În aceste condiții integrând expresia curburii se obține:

$$y'=\frac{i}{2RL}\cdot x^2+C_1 \qquad (5.8)$$

unde coeficientul $C_1 = 0$, deoarece pentru x = 0 curba progresivă este tangentă la aliniament, adică y' = 0

Prin a doua integrare se obține:

$$y=\frac{1}{6RL}\cdot x^3+C_2 \qquad (5.9)$$

în care pentru abscisa x = 0, ordonata y = 0 şi deci coeficientul $C_2 = 0$.

Expresia obținută în acest mod este ecuația parabolei cubice:

$$y=\frac{1}{6RL}\cdot x^3 \qquad (5.10)$$

Se mai poate demonstra că centrul de curbură al arcului de cerc primitiv, care este identic cu centrul de curbură al racordării cu parabola cubică (punctul 0), se găseşte pe verticala dusă prin mijlocul lungimii L a parabolei cubice (fig. 5.6) şi că mărimea strămutării tangentei este $\Delta R = L^2/24R$.

De asemenea, pentru parabola cubică, ordonata punctului final S_i, respectiv S_e este de patru ori mai mare decât ΔR ($y = L^2/6R$), iar pentru abscisa $x = 0{,}5L$, ordonata este $y = \Delta R/2$ (parabola cubică împarte mărimea ΔR în două părți egale).

Parabola cubică se caracterizează prin faptul că raza sa de curbură nu descreşte uniform decât până la un unghi $\tau = 24^0\ 05'\ 41''$, după care creşte din nou. Din aceste considerente folosirea parabolei cubice la proiectarea curbelor de căi de comunicație terestre este limitată.

Se reține de asemenea că parabola cubică **nu are arc util**. Prin arc util se înțelege lungimea curbei progresive cuprinsă între origine şi punctul al cărui tangentă este normală la axa absciselor.

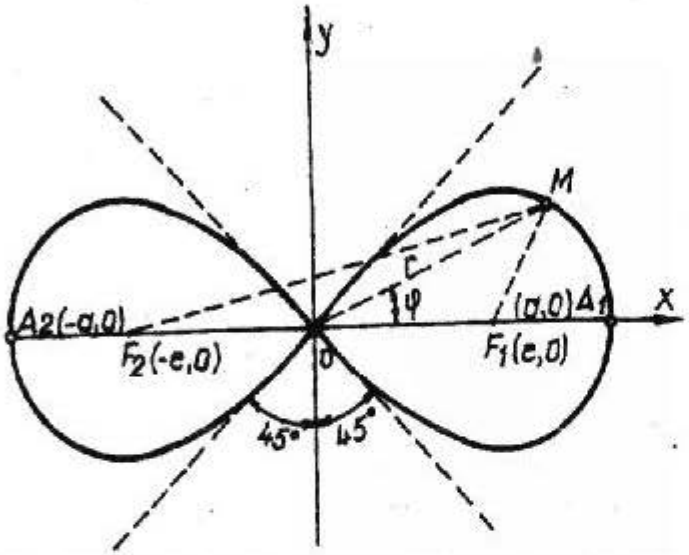


Fig. 5.7. Lemniscata raportată la axa absciselor.

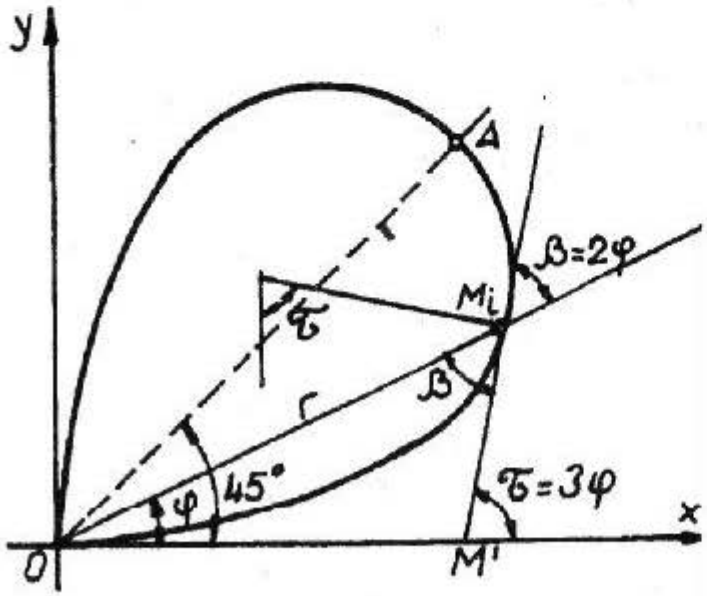


Fig. 5.8. Lemniscata raportată la bisectoarea primului cadran.

b. Lemniscata este o radioidă mult mai exactă din punct de vedere mecanic decât parabola cubică. Această radioidă se caracterizează printr-o curbură proporțională cu raza polară (r) în orice punct de pe lungimea sa, adică

$$\frac{1}{\rho} = \frac{r}{k_2} \text{ sau: } \rho \cdot r = k_2 \quad (5.11)$$

Lemniscata lui Bernoulli face parte din familia de curbe denumite "ovalele lui Cassini", fiind un caz particular al acestora. Curbele "Cassini" se definesc ca fiind locul geometric al punctelor din plan pentru care produsul distanțelor la două puncte fixe, numite focare, este constant.

Dacă F_1 (e, 0) şi F_2 (-e, 0) sunt focarele, conform definiției, pentru un punct oarecare M de pe curbă (fig. 5.7), se poate demonstra că este îndeplinită relația următoare:

$$r^2 = 2e \cdot \cos 2\varphi \qquad (5.12)$$

care reprezintă ecuația lemniscatei în coordonate polare în funcție de distanța focală (e), când axa lemniscatei este axa absciselor.

Punctul O se numește originea lemniscatei și coincide cu originea sistemului cartezian xOy, iar punctele A_1 (a, 0) și A_2'(-a, 0) sunt denumite vârfurile lemniscatei. Aplicând ecuația 5.12 pentru vârfurile lemniscatei rezultă că $a = e \cdot \sqrt{2}$. Valorile reale ale razei polare r corespund valorilor φ pentru care cos $2\varphi > 0$, adică $(0...\pi/4)$; $(3\pi/4...5\pi/4)$; $(7\pi/4...2\pi)$.

Pentru aplicații în domeniul căilor de comunicație terestre prezintă interes raportarea lemniscatei la bisectoarea primului cadran (fig. 5.8), caz în care, pentru $\varphi' = \varphi + 45^0$, ecuația lemniscatei în coordonate polare este de forma:

$$r = a \cdot \sqrt{\sin 2\varphi} \qquad (5.13)$$

iar ecuația în coordonate carteziene este următoarea:

$$\left(x^2 + y^2\right)^2 - 2a^2 \cdot x \cdot y = 0 \qquad (5.14)$$

Fără a se insista asupra lemniscatei, se reţin totuşi, ca titlu informativ, principalele proprietăţi ale acestei radioide, şi anume:

- produsul dintre raza de curbură şi raza polară este constant şi egal cu valoarea $K^2 = K_2$ (vezi relaţia 5.11). Mărimea K se numeşte modulul lemniscatei şi are valoarea $a/\sqrt{3}$;

- prin orice punct al planului trece o lemniscată definită de poziţia acelui punct. De exemplu pentru punctul M_i de coordonate polare **r** şi φ (fig. 5.8) trece lemniscata definită de relaţia 5.13;

- tangenta într-un punct M_i (r, φ) formează cu raza sa polară un unghi β egal cu de două ori unghiul polar φ, iar unghiul τ format de tangenta la lemniscată în acel punct cu axa absciselor este de trei ori mai mare decât unghiul polar aferent (fig. 5.8);

- arcul util al lemniscatei se obţine pentru $\tau = 90^0$ (100^g). Cu două arce utile de lemniscată se pot racorda **în boltă** două aliniamente paralele, când direcţia de mers se schimbă cu 180^0 (200^g);

- lemniscatele sunt curbe omotetice (asupra proprietăţii de omotetie se va reveni în capitolul 6, referitor la clotoidă).

Limita de folosire a lemniscatei pentru racordări progresive rezultă din domeniul de variaţie a razei de curbură între infinit şi raza cercului osculator în vârful lemniscatei (punctul A), care are raza R = a/3.

c. Clotoida are curbura în orice punct proporţională cu lungimea arcului (s), adică:

$$\frac{1}{\rho}=\frac{s}{k_3} \quad \text{sau: } \rho \cdot s = k_3 \qquad (5.15)$$

La înscrierea într-o curbă, autovehiculele care circulă cu o viteză constantă, pentru o rotire uniformă a volanului, descriu o traiectorie identică cu clotoida. Din acest motiv clotoida se numeşte **curbă mecanică prin excelenţă** şi este curba progresivă cea mai folosită la drumuri (se va reveni în capitolul 6).

5.4. Lungimea curbelor progresive

Lungimea curbei progresive (L) trebuie să asigure trecerea autovehiculului din aliniament în curba arc de cerc în mod treptat, fără şocuri. Pentru calculul lungimii minime a curbei progresive se pot folosi mai multe criterii, cu caracter empiric sau teoretic, şi anume:

a. Criteriile mecanice impun o serie de condiţii asupra valorii acceleraţiilor ce apar în mişcarea curbilinie, astfel încât confortul circulaţiei să fie asigurat.

Acceleraţia tangenţială (a_t) dată de relaţia 5.1 nu ridică nici un fel de probleme, aceasta fiind nulă pentru o viteză constantă.

Acceleraţia normală (a_n) evidenţiată prin relaţia 5.3 trebuie să varieze proporţional cu timpul pe toată durata parcurgerii curbei progresive, pentru a asigura condiţiile de comoditate şi confort. Adică creşterea specifică a acceleraţiei normale în timp trebuie să fie constantă şi limitată la valori deduse experimental (J), funcţie de condiţiile de comoditate şi confort. Această condiţie se poate exprima astfel:

$$\frac{da_n}{dt}=J=ct. \quad \text{sau: } da_n = J \cdot dt \quad \text{sau prin integrare: } a_n = J \cdot t \qquad (5.16)$$

Din relaţia 5.16 se poate deduce timpul (t) astfel:

$$t=\frac{a_n}{J}=\frac{v^2}{\rho \cdot J}=\frac{V^2}{(3{,}6)^2 \cdot \rho \cdot J} \qquad [s] \qquad (5.17)$$

Dar timpul mai poate fi exprimat şi în felul următor:

$$t=\frac{s}{v}=\frac{3{,}6\,s}{V} \qquad [s] \qquad (5.18)$$

în care:

v este viteza vehiculului, în m/s;

V - viteza vehiculului, în km/h;

J - variaţia acceleraţiei normale, în m/s^3.

Prin egalarea relaţiilor 5.17 şi 5.18 la sfârşitul curbei progresive, acolo unde t = T; s = L şi ρ = R se obţine lungimea necesară a curbei progresive (L):

$$L = \frac{v^3}{RJ} \cong \frac{V^3}{47RJ} \quad [m] \qquad (5.18)$$

Cu cât **J** este mai mic, cu atât condiţiile de comoditate şi confort sunt mai bune. Se recomandă ca variaţia acceleraţiei normale să se înscrie în valorile J = 0,5...1,0 m/s^3 pentru drumuri şi J = 0,3...0,5 m/s^3 pentru căi ferate.

Acceleraţia unghiulară (a_ω) este de asemenea limitată din condiţiile de confort, la valori de 0,02...0,05 rad/s^2, deduse experimental. Dacă ω este viteza unghiulară (adică unghiul în radiani sau grade cu care vehiculul se roteşte în jurul unei axe verticale în unitatea de timp), atunci această mărime creşte pe lungimea curbei progresive, urmând ca pe lungimea arcului de cerc să rămână constantă. Deci creşterea vitezei unghiulare în unitatea de timp (adică acceleraţia unghiulară a_ω) trebuie să fie constantă şi să nu depăşească valorile sus-menţionate, condiţie care se exprimă astfel:

$$a_\omega = \frac{d\omega}{dt} = 0{,}02...0{,}05 \quad [rad/s^2] \qquad (5.20)$$

$$d\omega = a_\omega \cdot dt \qquad (5.21)$$

$$\omega = a_\omega \cdot t \quad [rad/s] \qquad (5.22)$$

$$t = \frac{\omega}{a_\omega} = \frac{v}{\rho} \cdot \frac{1}{a_\omega} = \frac{V}{3{,}6 \cdot \rho \cdot a_\omega} \quad [s] \qquad (5.23)$$

Această relaţie a timpului egalată cu relaţia 5.18, la sfârşitul curbei progresive, atunci când t = T; s = L şi ρ = R, conduce la obţinerea lungimii minime (L) a curbei progresive:

$$L = \frac{v^2}{(3{,}6)^2 \cdot R \cdot a_\omega} \cong \frac{V^2}{13 \cdot R \cdot a_\omega} \quad [m] \qquad (5.24)$$

b. Criteriul introducerii progresive a deverului pozitiv ţine seama de faptul că pe lungimea curbelor progresive profilul transversal trebuie să-şi modifice alura.

Conform normativelor în vigoare, pe lungimea curbei progresive se efectuează supraînălţarea profilului transversal, adică trecerea de la profilul transversal convertit de pantă p (în %) la intrarea în curba progresivă, la profilul transversal supraînălţat de pantă i (în %) de la sfârşitul curbei progresive (fig. 5.9).

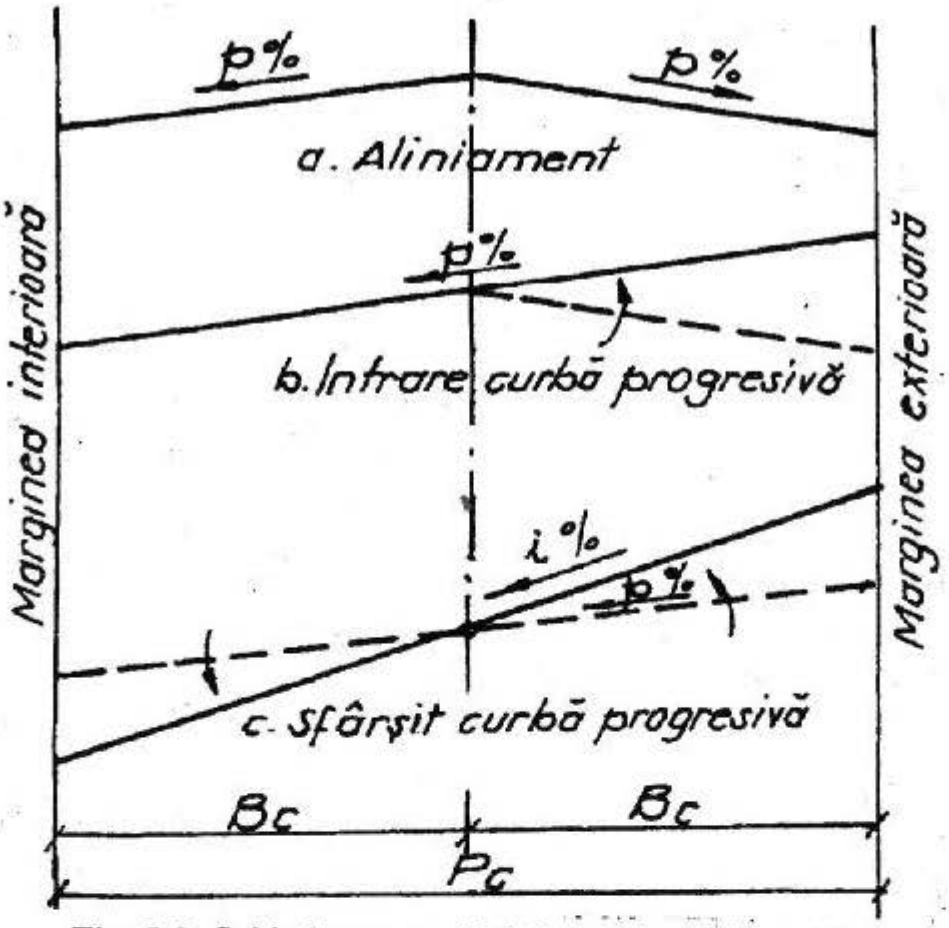


Fig. 5.9. Schimbarea profilului transversal în curbă.

În aceste condiţii, acceptând o variaţie a deverului (pantei) cu max. 2 ‰/s rezultă timpul (t) minim cât vehiculul trebuie să se găsească pe curba progresivă:

$$t = \frac{i,\% - p,\%}{2\ \%/s} \qquad [s] \qquad (5.25)$$

Luând în considerare o viteză constantă pe durata parcurgerii curbei progresive, rezultă lungimea minimă (L) a acesteia:

$$L = v \cdot t = v \cdot \frac{i,\% - p,\%}{2\ \%/s} = \frac{V}{3,6} \cdot \frac{i,\% - p,\%}{2\ \%/s} \qquad [m] \qquad (5.26)$$

Acest criteriu conduce la valori apropiate cu un alt criteriu, empiric, potrivit căruia **autovehiculul trebuie să se afle pe curba de tranziţie min. 2...3 s**, pentru a fi asigurată efectuarea manevrelor de conducere în condiţii de siguranţă şi confort.

La calea ferată criteriul introducerii progresive a deverului pozitiv poate fi asimilat cu criteriul **limitării vitezei de ridicare a roţii** (la valori stabilite experimental: v_r = 0,027...0,070 m/s):

$$v_r = \frac{h}{t} = h \cdot \frac{v}{L} = \frac{h}{L} \cdot \frac{V}{3,6} \qquad [m/s] \qquad (5.27)$$

În aceste condiții lungimea minimă a curbei progresive (L) este următoarea:

$$L = \frac{h \cdot v}{v_r} = \frac{h \cdot V}{3,6 \cdot v_r} \qquad [m] \qquad (5.28)$$

în care:

h este ridicarea pe care o primește roata exterioară în timpul parcurgerii curbei progresive, în m.

c. Criteriul confortului optic ține seama de asigurarea unui confort optic corespunzător pentru utilizator pe întreaga lungime a curbei progresive.

Prin confort optic se înțelege asigurarea perceperii în perspectivă, de către utilizator, a platformei drumului și a alurii traseului ce urmează să fie parcurs, ceea ce îi permite efectuarea din timp a manevrelor de conducere necesare. Criteriul confortului optic se poate exprima în două moduri diferite:

- impunerea unei valori minime pentru deplasarea arcului de cerc primitiv (ΔR) necesară pentru a asigura o curbură a traseului sesizabilă de către utilizator. În acest sens, folosind relația deplasării arcului de cerc primitiv (ΔR) de la parabola cubică, rezultă că lungimea curbei progresive (L) trebuie să îndeplinească următoarea condiție:

$$L \geq \sqrt{24 \cdot R \cdot \Delta R} \qquad [m] \qquad (5.29)$$

În general, se admite $\Delta R \geq 0,5...1,0$ m, dar nu mai mare de 2,50 m;

- arcul de racordare progresivă trebuie să conducă la o schimbare de direcție a traseului de min. 3^0 pentru ca utilizatorul să sesizeze curba și să perceapă corect sensul de curbură. Rezultă că unghiul τ (fig. 5.6) la sfârșitul curbei progresive să fie min. 3^0.

Practic sunt luate în considerare toate criteriile enunțate pentru stabilirea lungimii minime a curbei progresive, pentru o anumită viteză de proiectare. Deci, lungimea minimă a curbei progresive (L_{min}) trebuie să corespundă criteriului cel mai defavorabil.

Lungimea minimă a curbelor progresive folosite la racordarea aliniamentelor la drumuri este prevăzută prin standard și este conform tabelului 6.1, funcție de viteza de proiectare.

6. CLOTOIDA

Dintre curbele progresive, clotoida este aceea care corespunde cel mai bine condițiilor pe care trebuie să le îndeplinească radiodele pentru proiectarea racordărilor în plan la drumuri.

6.1. Elemente de bază

Clotoida este o curbă plană sub forma unei spirale duble (spirala lui Cornu) care are curbura ($1/\rho$), într-un punct oarecare, direct proporțională cu arcul de curbă parcurs (s), (fig. 6.1):

$$\rho \cdot s = A^2 = ct. \qquad (6.1)$$

relație care poartă denumirea de ecuație intrinsecă a clotoidei.

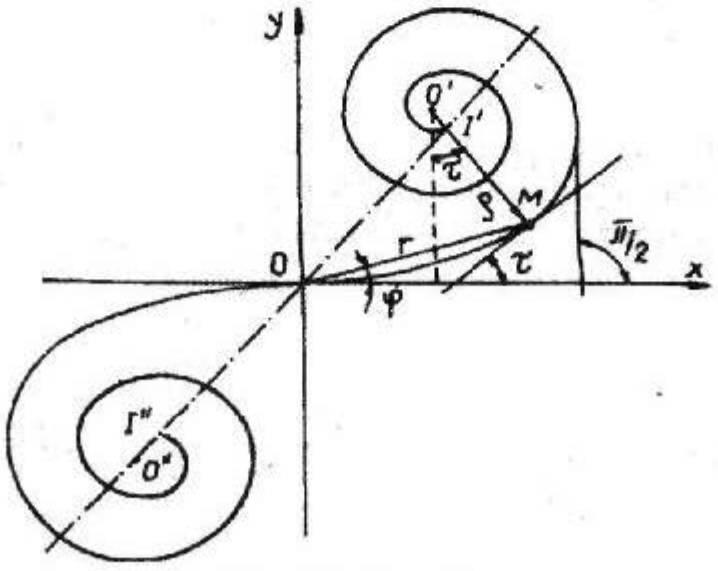


Fig. 6.1. Clotoida.

Pentru o viteză constantă şi o rotire uniformă a volanului se poate demonstra proprietatea clotoidei de curbă mecanică prin excelenţă. În condiţiile susmenţionate rezultă că acceleraţia unghiulară (a_ω) pe parcursul curbei progresive este constantă, condiţie care se exprimă astfel:

$$\frac{d\omega}{dt} = a_\omega = C \quad \text{sau: } d\omega = C \cdot dt \quad \text{sau prin integrare: } \omega = C \cdot t \qquad (6.2)$$

Având în vedere că $v = \rho \cdot \omega$ şi că $s = v \cdot t$, relaţia 6.2 se transformă în felul următor:

$$\rho \cdot s = \frac{v^2}{C} = ct. \qquad (6.3)$$

Relaţia 6.3 este adevărată pentru o viteză a vehiculului v constantă pe toată durata parcurgerii clotoidei, condiţie în care se obţine o ecuaţie identică cu cea a clotoidei. Deci pentru o viteză constantă şi o rotire uniformă a volanului, autovehiculul descrie o traiectorie care se exprimă matematic printr-o ecuaţie identică cu cea a clotoidei.

Este consacrată notarea produsului dintre raza de curbură (ρ) şi lungimea arcului corespunzător (s) prin A^2, care este o constantă pentru orice clotoidă. Caracteristica **A** se numeşte modulul clotoidei sau parametrul clotoidei şi reprezintă o lungime.

Introducând în relaţia 6.3 elementele geometrice corespunzătoare sfârşitului arcului de curbă progresivă ($\rho = R$ şi $s = L$) se obţine:

$$\rho \cdot s = R \cdot L = A^2 \qquad (6.4)$$

Dacă lungimea clotoidei (L) se stabileşte pe baza relaţiei 5.19, atunci se poate demonstra că produsul $R \cdot L$ este o constantă care depinde numai de viteza de proiectare:

$$R \cdot L = R \cdot \frac{V^3}{47 \cdot R \cdot J} = \frac{V^3}{47J} = ct. = A^2 \qquad (6.5)$$

adică modulul clotoidei (A) depinde de viteza de proiectare şi deci pentru fiecare viteză de proiectare îi corespunde un singur modul şi o singură clotoidă.

Pe de altă parte, variaţia curburii clotoidei este liniară, aşa cum rezultă prin scrierea relaţiei 6.3 sub forma următoare (ecuaţie de gradul I cu variabila s):

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{A^2} \cdot s \qquad (6.6)$$

Relaţiile dintre elementele geometrice ale clotoidei se obţin făcând apel la variabila independentă τ, pornind de la un element de arc infinitezimal (fig. 6.2):

$$ds = \rho \cdot d\tau \qquad (6.7)$$

Ținând seama de ecuația intrinsecă a clotoidei se poate scrie:

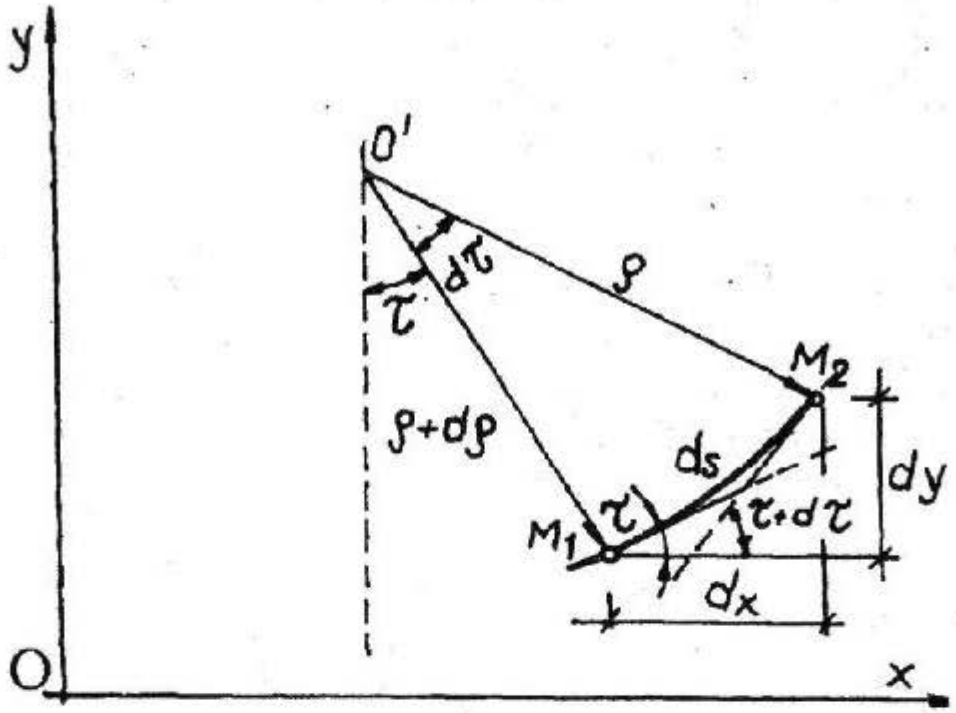


Fig. 6.2. Arcul elementar de clotoidă.

$$ds = \frac{A^2}{s} \cdot d\tau \tag{6.8}$$

$$s \cdot ds = A^2 \cdot d\tau \tag{6.9}$$

$$\frac{s^2}{2} = A^2 \cdot \tau \tag{6.10}$$

Pornind de la relația 6.10 se pot face următoarele explicitări care conduc la obținerea ecuațiilor de bază ale clotoidei:

$$s = A \cdot \sqrt{2\tau} \tag{6.11}$$

$$\tau = \frac{s^2}{2A^2} = \frac{1}{2}\left(\frac{s}{A}\right)^2 \tag{6.12}$$

$$\tau = \frac{s^2}{2A^2} = \frac{s^2}{2s \cdot \rho} = \frac{s}{2\rho} \tag{6.13}$$

$$\tau = \frac{s^2}{2A^2} = \frac{\left(A^2/\rho\right)^2}{2A^2} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{A}{\rho}\right)^2 \tag{6.14}$$

Toate elementele geometrice ale clotoidei sau ale unui punct de pe clotoidă se pot exprima pe baza relației 6.11, respectiv 6.13 și prin coordonate carteziene.

Dacă variabila independentă τ variază în intervalul $0...\infty$, clotoida are o formă concavă și este situată în primul cadran, pentru $\rho = \pm \infty$ trece printr-un punct de inflexiune situat în originea sistemului de axe, după care pentru $\rho < 0$ are o formă convexă situată în cadranul III. Pentru întreaga gamă de valori τ, clotoida formează două ramuri identice în formă de spirală, ramuri care se învârtesc în jurul a două puncte I' și I" situate pe bisectoarea cadranelor I și III.

Pentru sfârșitul clotoidei (punctul S_i, respectiv S_e) relațiile 6.11...6.14 rămân valabile, cu mențiunea că notațiile se schimbă astfel: $\rho = R$ și $s = L$.

Ecuațiile parametrice ale clotoidei se pot scrie pornind de la proiecțiile pe cele două axe de coordonate ale arcului elementar **ds** (fig. 6.2):

$$dx = ds \cdot \cos\tau \tag{6.15}$$

$$dy = ds \cdot \sin\tau \tag{6.16}$$

Efectuând schimbarea de variabilă $\tau = t^2$, unde **t** este o variabilă auxiliară, relația 6.11 se poate scrie, pentru arcul elementar, astfel:

$$ds = A \cdot \sqrt{2} \cdot dt \tag{6.17}$$

În aceste condiții ecuațiile parametrice se transformă astfel:

$$dx = A \cdot \sqrt{2} \cdot dt \cdot \cos t^2 \tag{6.18}$$

$$dy = A \cdot \sqrt{2} \cdot dt \cdot \sin t^2 \tag{6.19}$$

Când variabila independentă variază de la zero la $\tau_0 = L/2R$, lungimea arcului variază de la zero la L și variabila auxiliară de la zero la t_0, deci:

$$t_0 = \sqrt{\tau_0} = \sqrt{\frac{L}{2R}} \tag{6.20}$$

Pentru a exprima clotoida în coordonate carteziene, se integrează expresiile 6.19 și 6.20 între zero și t_0 (indicele 0 indică caracteristicile punctului final):

$$x_0 = A \cdot \sqrt{2} \int_0^{t_0} \cos t^2 \cdot dt \tag{6.21}$$

$$y_0 = A \cdot \sqrt{2} \int_0^{t_0} \sin t^2 \cdot dt \tag{6.22}$$

Pentru rezolvarea integralelor se procedează la dezvoltarea în serie a funcţiilor **cos** t^2 şi **sin** t^2:

$$\cos t^2 = 1 - \frac{t^4}{2!} + \frac{t^8}{4!} - \frac{t^{12}}{6!} + \frac{t^{16}}{8!} - \cdots \qquad (6.23)$$

$$\sin t^2 = t^2 - \frac{t^6}{3!} + \frac{t^{10}}{5!} - \frac{t^{14}}{7!} + \frac{t^{18}}{9!} - \cdots \qquad (6.24)$$

Prin integrare, coordonatele carteziene ale unui punct de pe clotoidă, pentru care $t = \sqrt{\tau} = \sqrt{\frac{s}{2\rho}} = \frac{s}{A\sqrt{2}}$, vor avea expresiile următoare:

$$x = A \cdot \sqrt{2}\left(t - \frac{t^5}{10} + \frac{t^9}{216} - \frac{t^{13}}{9360} + \frac{t^{17}}{685440} - \cdots\right) \quad [m] \qquad (6.25)$$

$$y = A \cdot \sqrt{2}\left(\frac{t^3}{3} - \frac{t^7}{42} + \frac{t^{11}}{1320} - \frac{t^{15}}{75600} + \frac{t^{19}}{6894720} - \cdots\right) \quad [m] \qquad (6.26)$$

Pentru $\tau = t^2 = \pm\infty$ se obţin prin integrale duble coordonatele punctelor I' şi I", care au valorile $x = y = \pm A \cdot \sqrt{\pi/2}$.

6.2. Proprietăţile clotoidei

La punctul 6.1 s-au expus două din principalele proprietăţi ale clotoidei, şi anume:

- clotoida este o curbă mecanică prin excelenţă;
- curbura clotoidei variază liniar cu lungimea arcului parcurs.

În plus faţă de aceste proprietăţi pentru activitatea de proiectare în domeniul căilor de comunicaţie terestre sunt deosebit de importante proprietatea de omotetie şi arcul util ale clotoidei.

Proprietatea de omotetie are o importanţă practică aparte pentru calculul elementelor geometrice ale clotoidelor reale, plecând de la elementele geometrice omoloage ale unei **clotoide de bază**.

Prin **omotetie** se înţelege asemănarea figurilor geometrice şi paralelismul elementelor omoloage. Deci, pentru două clotoide oarecare, având modulii A_1, respectiv A_2, există asemănarea figurilor geometrice (fig. 6.3) şi paralelismul elementelor omoloage. Pentru cele două clotoide considerate se pot scrie relaţiile următoare, în condiţiile în care pentru punctele M_1 şi M_2 unghiurile făcute de tangenta la curbă cu abscisa sunt egale (τ):

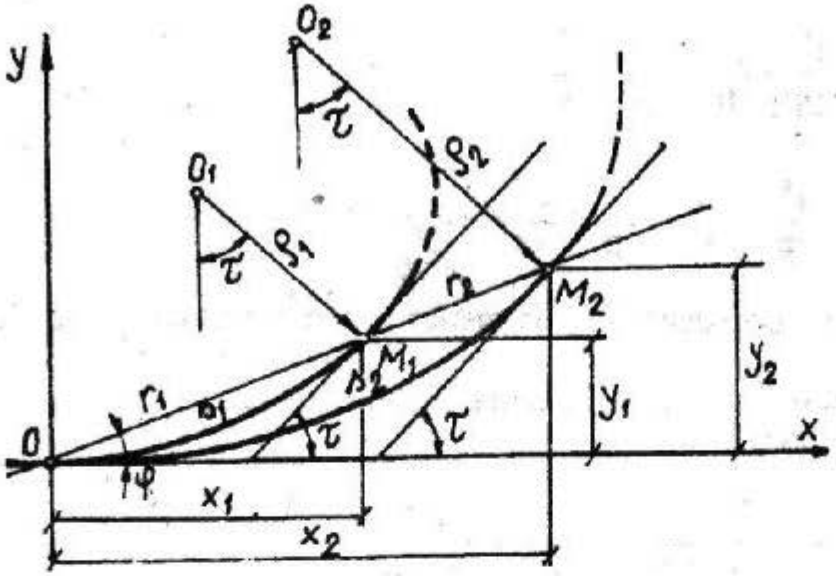


Fig. 6.3. Proprietatea de omotetie.

$$x_1 = A_1 \cdot \sqrt{2}\left(t - \frac{t^5}{10} + \frac{t^9}{216} - \frac{t^{13}}{9360} + \frac{t^{17}}{685440} - \cdots\right) \quad [m] \quad (6.27)$$

$$x_2 = A_2 \cdot \sqrt{2}\left(t - \frac{t^5}{10} + \frac{t^9}{216} - \frac{t^{13}}{9360} + \frac{t^{17}}{685440} - \cdots\right) \quad [m] \quad (6.28)$$

$$y_1 = A_1 \cdot \sqrt{2}\left(\frac{t^3}{3} - \frac{t^7}{42} + \frac{t^{11}}{1320} - \frac{t^{15}}{75600} + \cdots\right) \quad [m] \quad (6.29)$$

$$y_2 = A_2 \cdot \sqrt{2}\left(\frac{t^3}{3} - \frac{t^7}{42} + \frac{t^{11}}{1320} - \frac{t^{15}}{75600} + \cdots\right) \quad [m] \quad (6.30)$$

$$s_1 = A_1 \cdot \sqrt{2\tau} \quad [m] \quad (6.31)$$

$$s_2 = A_2 \cdot \sqrt{2\tau} \quad [m] \quad (6.32)$$

$$\rho_1 = \frac{A_1^2}{s_1} = \frac{A_1}{\sqrt{2\tau}} = \frac{s_1}{A_1\sqrt{2}} \quad [m] \quad (6.33)$$

$$\rho_2 = \frac{A_2^2}{s_2} = \frac{A_2}{\sqrt{2\tau}} = \frac{s_2}{A_2\sqrt{2}} \quad [m] \quad (6.34)$$

Cele două puncte M_1 şi M_2 se află pe dreapta care trece prin originea axelor de coordonate (O), care este şi **centrul omotetiei**. Rezultă astfel următoarele egalităţi:

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{y_1}{y_2} = \frac{s_1}{s_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2} = \cdots = \frac{A_1}{A_2} = \Omega \qquad (6.35)$$

Numărul real Ω reprezintă **coeficientul de omotetie** şi este egal cu raportul modulilor clotoidelor considerate.

În aceste condiţii, un element oarecare (e_1) al clotoidei de modul A_1 se poate determina uşor pe baza coeficientului de omotetie şi a elementului omolog (e_2) al celeilalte clotoide:

$$e_1 = e_2 \cdot \frac{A_1}{A_2} = e_2 \cdot \Omega \qquad (6.36)$$

De regulă, elementele cunoscute sunt ale **clotoidei de bază**, care din motive de simplificare se consideră cu modulul egal cu unitatea (A = 1) sau cu raza R = 1. În acest caz, relaţia 6.36 se simplifică astfel:

$$e_1 = e_2 \cdot \frac{A_1}{1{,}00} = e_2 \cdot A_1 \quad \text{sau: } e_1 = e_2 \cdot \frac{R_1}{1{,}00} = e_2 \cdot R_1 \qquad (6.37)$$

Rezultă că pentru o anumită variabilă independentă τ raportul dintre două elemente oarecare este acelaşi pentru toate clotoidele, deci este **independent de modulele acestora** şi este egal cu coeficientul de omotetie.

În anexa 1 (pagina 233) sunt prezentate elementele clotoidelor de bază pentru variabile independente $\tau = 0 \ldots 100^{g}$ şi raza R = 1. Pentru valori ale variabilei independente τ care nu sunt numere întregi, găsirea elementelor clotoidei de bază se face prin interpolare liniară.

Arcul util al clotoidei ($\tau = 90^{0}$, respectiv $\tau = 100^{g}$) este utilizat la racordările în boltă, ca şi în cazul lemniscatei. Lungimea arcului de clotoidă în acest caz este:

$$s^2 = 2A^2 \cdot \tau = \pi A^2 \quad \text{deci: } s = A\sqrt{\pi} \qquad [m] \qquad (6.38)$$

Pentru un A = 1 rezultă că s = 1,773 m (arcul util al clotoidei de bază).

Pentru aceeaşi rază de curbură rezultă lungimi mai mari ale arcului util pentru clotoidă decât pentru lemniscată, deci condiţiile de siguranţă şi confort asigurate de clotoidă în cadrul racordărilor de căi de comunicaţie terestre sunt mai bune în raport cu cele oferite de lemniscată.

În mod curent, pentru racordări care au arc de cerc central, se utilizează arce de clotoidă corespunzătoare unui unghi $\tau = 5 \ldots 15^{0}$, deci cu respectarea criteriului de confort optic descris la punctul 5.4.

6.3. Trasarea clotoidei

Notându-se cu indicele zero, elementele geometrice ale punctului S_i, respectiv S_e, care reprezintă sfârşitul arcului de clotoidă, sunt următoarele (fig. 6.4):

- variabila independentă: τ_0;
- coordonatele carteziene (x_0 şi y_0) obţinute prin relaţiile 6.25 şi 6.26, în care variabila auxiliară este $t_0 = \sqrt{\tau_0}$;
- coordonatele polare:

$$r_0 = \sqrt{x_0^2 + y_0^2} \qquad [m] \qquad (6.39)$$

$$\varphi_0 = \operatorname{arctg}\frac{y_0}{x_0} \qquad [^g] \qquad (6.40)$$

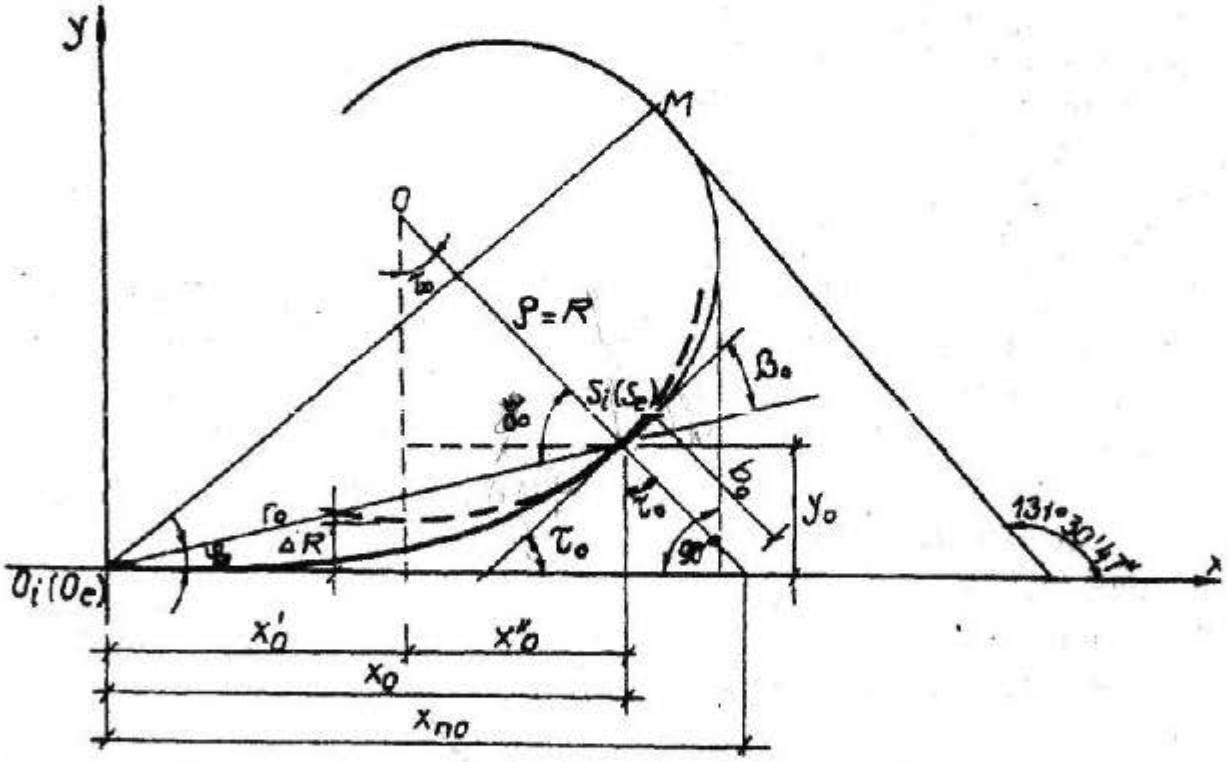


Fig. 6.4. Elementele geometrice ale clotoidei.

- strămutarea tangentei (deplasarea centrului):

$$\Delta R = y_0 - R(1 - \cos\tau_0) \qquad [m] \qquad (6.41)$$

- raza de curbură:

$$\rho_0 = R = \frac{L}{2\tau_0} \qquad [m] \qquad (6.42)$$

- lungimea arcului:

$$s_0 = L = A\sqrt{2\tau_0} = 2R\cdot\tau_0 \qquad [m] \qquad (6.43)$$

- abscisa centrului de curbură:

$$x_0' = x_0 - R\cdot\sin\tau_0 \qquad [m] \qquad (6.44)$$

- ordonata centrului de curbură:

$$y_0' = y_0 + R\cdot\cos\tau_0 \qquad [m] \qquad (6.45)$$

- normala:

$$b_0 = \frac{y_0}{\cos\tau_0} \qquad [m] \qquad (6.46)$$

- abscisa piciorului normalei:

$$x_{n0} = x_0' + (R + \Delta R)\,tg\,\tau_0 \qquad [m] \qquad (6.47)$$

- orientarea profilurilor transversale, care este dată prin unghiurile:

$$\beta_0 = \tau_0 - \varphi_0 \qquad [^g] \qquad (6.48)$$

$$\gamma_0 = 100^g + \varphi_0 - \tau_0 \qquad [^g] \qquad (6.49)$$

Pentru diferite valori ale variabilei independente τ, valorile elementelor geometrice sus-menţionate sunt calculate, mai simplu, pe baza proprietăţii de omotetie, cu ajutorul tabelelor care conţin elementele clotoidei de bază (anexa 1).

6.4. Tipuri de racordări cu clotoidă

Clotoida este principala radioidă folosită în activitatea de proiectare a drumurilor. Normativele în vigoare în ţara noastră prevăd, funcţie de viteza de proiectare, valori minime pentru lungimea curbelor progresive şi a arcelor de cerc centrale pentru fiecare tip de racordare. Astfel, pentru racordările exterioare (curbe obişnuite) valorile limită sunt prezentate în tabelul 6.1.

Se prezintă în continuare câteva din tipurile de racordări cu clotoidă, cu explicitarea condiţiilor care stau la baza proiectării lor.

a. Racordările simetrice cu clotoide şi arc de cerc central (fig. 6.5) se pot rezolva, funcţie de elementele cunoscute, în mai multe moduri.

De regulă, se cunoaşte viteza de proiectare **V** şi din condiţii locale (bisectoare impusă, tangentă impusă sau lungimea racordării impusă) se determină raza racordării **R**. Funcţie de viteza de proiectare şi condiţiile locale, cu respectarea lungimilor minim admise (tabelul 6.1), se impune lungimea clotoidei **L**, după care se calculează unghiul τ_0 cu relaţia 6.13 ($\tau_0 = L/2R$) şi modulul clotoidei (A) cu relaţia

6.4. Se face apoi apel la proprietatea de omotetie şi la tabelele cu elementele geometrice ale clotoidei de bază ($A_b = 1$ sau $R_b = 1$), cu ajutorul cărora se determină elementele geometrice ale clotoidei proiectate, de parametru **A** sau rază **R**, cu relaţia 6.37.

Tabelul 6.1.

Caracteristica	Viteza de proiectare, în km/h:						
	100	80	60	50	40	30	25
Lungimile c ale arcelor de cerc măsurate între tangentele teoretice, pentru clase tehnice III...V, min., în m	140	120	95	70	60	45	40
Lungimile L ale clotoidelor folosite la racordările cu $R_m < R \leq R_c$, min., în m	95	85	75	55	45	35	30
Lungimile L ale clotoidelor când nu sunt arce de cerc centrale, min., în m	125	120	95	70	60	45	40

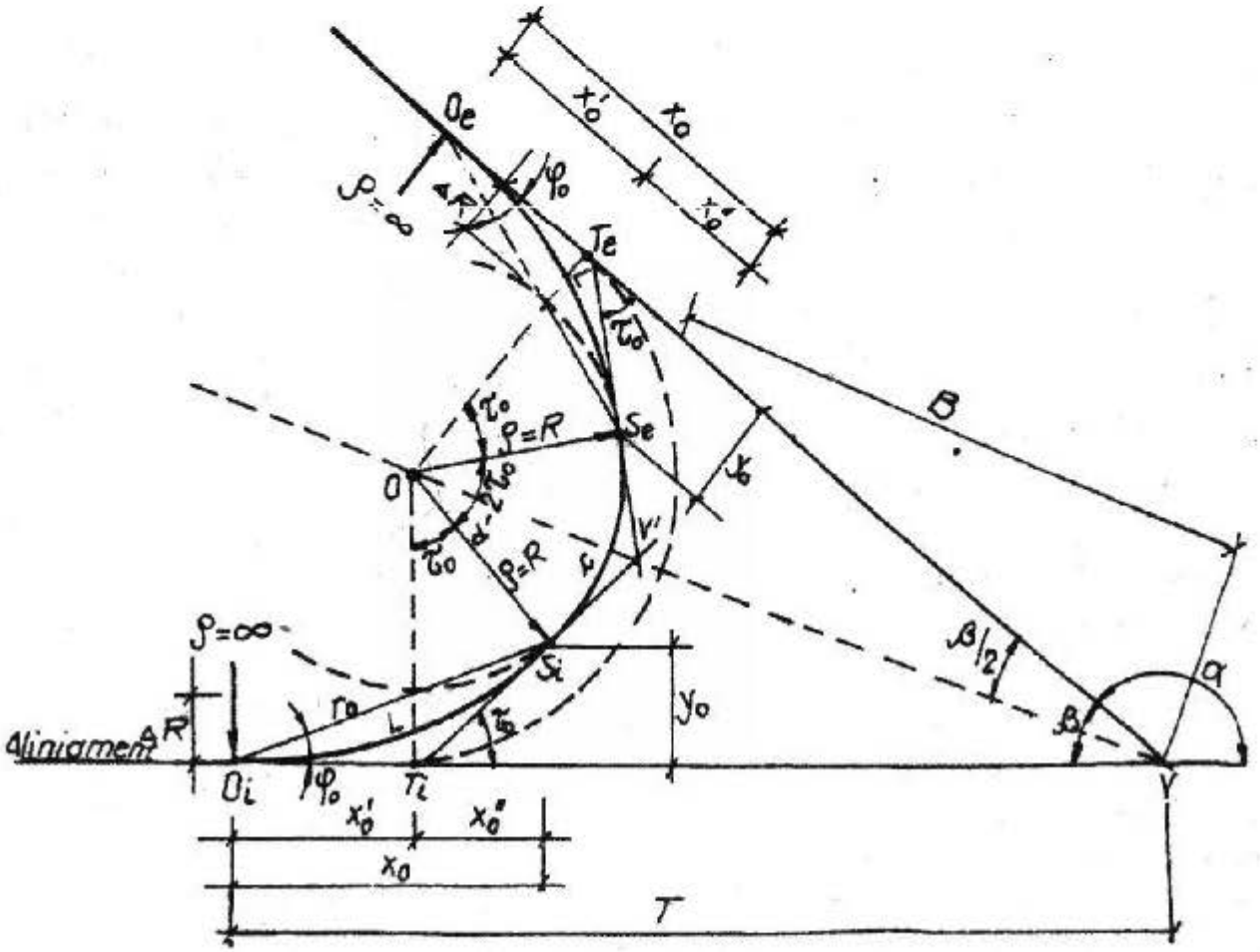


Fig. 6.5. Racordarea simetrică cu clotoide şi arc de cerc central.

De asemenea, elementele geometrice ale clotoidei pot fi calculate după acelaşi procedeu, dar cu folosirea relaţiilor 6.25, 6.26 şi 6.39...6.49 (soluţie mai dificilă decât cea bazată pe utilizarea tabelelor).

Un alt procedeu constă în folosirea unor tabele prin care se dau direct elementele geometrice ale clotoidelor frecvent utilizate pentru racordări de drumuri, funcţie de viteza de proiectare **V** şi raza racordării **R**. Aceste tabele pentru V = 25...60 km/h sunt prezentate în anexa 2.

Pentru acest tip de racordare, elementele geometrice principale se calculează cu relaţiile următoarele (fig. 6.5):

$$T = x_0' + (R + \Delta R)\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} \quad [m] \qquad (6.50)$$

$$B = \Delta R + (R + \Delta R)\left(\sec\frac{\alpha}{2} - 1\right) \quad [m] \qquad (6.51)$$

$$C = \frac{\pi R \alpha^{g}}{200^{g}}, \text{ care este lungimea arcului } T_i T_e \quad [m] \qquad (6.52)$$

$$c = C - L, \text{ care este lungimea arcului } S_i S_e \quad [m] \qquad (6.53)$$

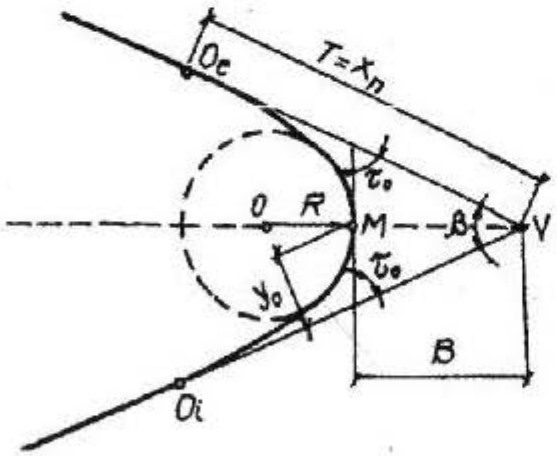


Fig. 6.6. Racordarea cu clotoide simetrice cap la cap.

Există situaţii când, pentru respectarea unor condiţii locale impuse, racordarea a două aliniamente succesive se rezolvă printr-o curbă nesimetrică cu clotoide şi arc de cerc central (lungimile celor două clotoide fiind diferite).

b. Racordarea aliniamentelor cu două arce de clotoidă simetrice se bazează pe particularitatea $\tau_0 = \alpha/2$ (fig. 6.6). Pentru variabila independentă definită în acest fel se determină din tabelele cu elementele clotoidei de bază (vezi anexa 1): L_b; x_b; y_b; x'_b; ΔR_b etc.

Dacă se mai cunoaşte unul din elementele geometrice ale clotoidei (de exemplu raza **R**) se determină pe baza proprietăţii de omotetie toate celelalte elemente:

$$\frac{L}{L_b} = \frac{x_0}{x_b} = \frac{y_0}{y_b} = \frac{x_0'}{x_b'} = \frac{\Delta R}{\Delta R_b} = \frac{A}{A_b} = \cdots \frac{R}{R_b = 1} = \Omega \qquad (6.54)$$

Dacă se impune un alt element al clotoidei (de exemplu y_0), atunci coeficientul de omotetie este $\Omega = y_0/y_b$ şi funcţie de acesta se determină celelalte elemente geometrice necunoscute.

Calculul principalelor elemente ale racordării (T, B, C şi c) se efectuează cu relaţiile 6.50...6.53, cu menţiunea că pentru acest tip de racordare arcul de cerc central se reduce la un singur punct (c = 0).

c. Racordarea în boltă (fig. 6.7) constă în racordarea a două aliniamente paralele, situate la distanţa **D**, folosind două arce simetrice de clotoidă, sensul de mers schimbându-se cu 200^g.

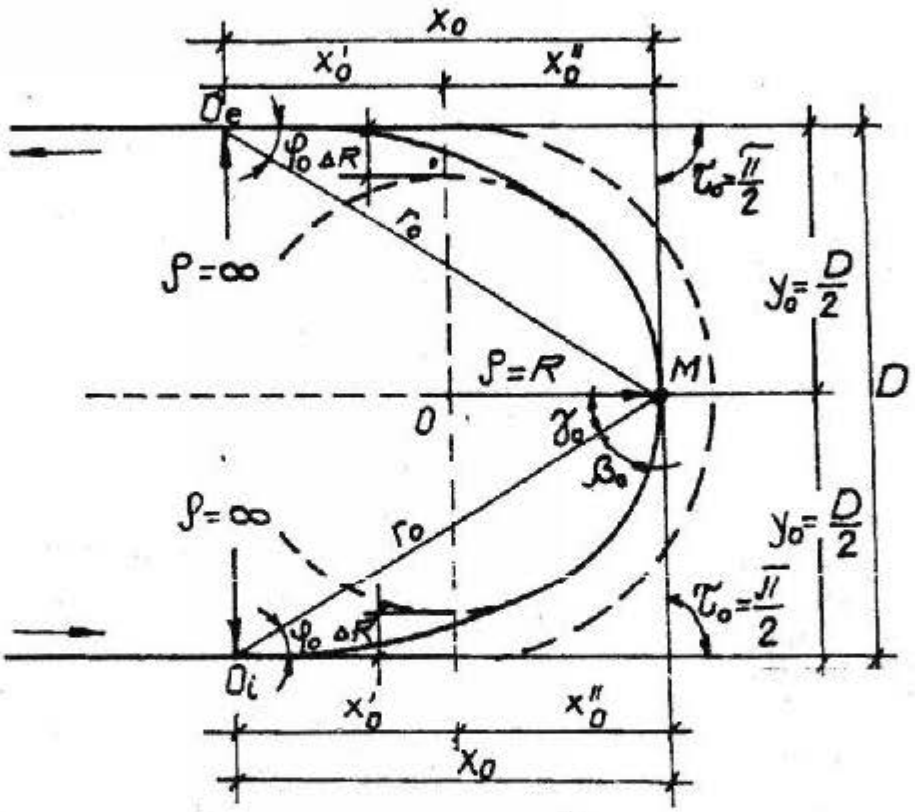


Fig. 6.7. Racordarea în dusină.

Arcele de clotoidă utilizate sunt chiar arcele utile. Cele două cunoscute în acest caz sunt $\tau_0 = 100^g$ şi $y_0 = D/2$. Rezultă coeficientul de omotetie $\Omega = A = y_0/y_b$ (în cazul clotoidei de bază cu $A_b = 1$) şi apoi celelalte elemente geometrice pe baza elementelor geometrice ale clotoidei de bază date în tabele. Se reţine faptul că la acest tip de racordare nu se poate defini tangenta **T** şi bisectoarea **B**.

d. Racordarea în dusină se foloseşte la racordarea a două aliniamente paralele situate la distanţa **D**, când sensul de mers se menţine. Pentru rezolvare se consideră un aliniament intermediar V_1V_2 care intersectează cele două aliniamente iniţiale sub un unghi α. Racordarea propriu-zisă constă în patru arce simetrice de

clotoidă (fig. 6.8) care au un punc de inflexiune în **0**, situat la mijlocul distanței dintre aliniamente.

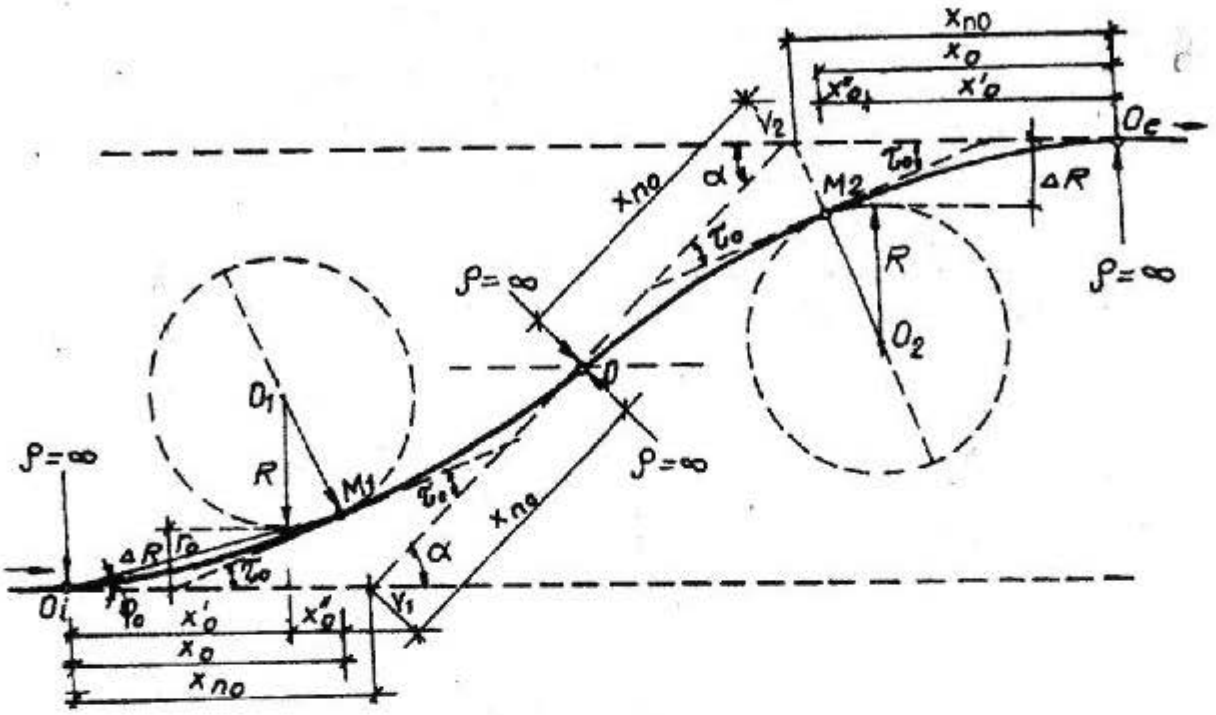


Fig. 6.8. Racordarea în dusină.

Condițiile care se cunosc şi care definesc cele patru clotoide identice sunt următoarele:

$$\tau_0 = \frac{\alpha}{2} \qquad [^g] \qquad (6.55)$$

$$x_{n0} = \frac{D}{2\sin\alpha} \qquad [m] \qquad (6.56)$$

Aplicând proprietatea de omotetie pentru τ_0 se obține coeficientul de omotetie $\Omega = A = x_{n0}/x_{nb}$ (în cazul clotoidei de bază cu $A_b = 1$) şi apoi celelalte elemente geometrice ale clotoidei, pe baza elementelor omoloage ale clotoidei de bază.

În funcție de eventualele condiții suplimentare punctul de inflexiune poate să nu fie situat simetric față de aliniamentele inițiale, clotoidele fiind atunci egale două câte două.

e. Racordarea în turnantă se foloseşte pentru rezolvarea curbei principale a serpentinelor. Curba principală a serpentinelor este amplasată în exteriorul aliniamentelor inițiale, soluție prin care lungimea traseului se măreşte artificial iar declivitățile în profil longitudinal sunt micşorate semnificativ (fig. 6.9).

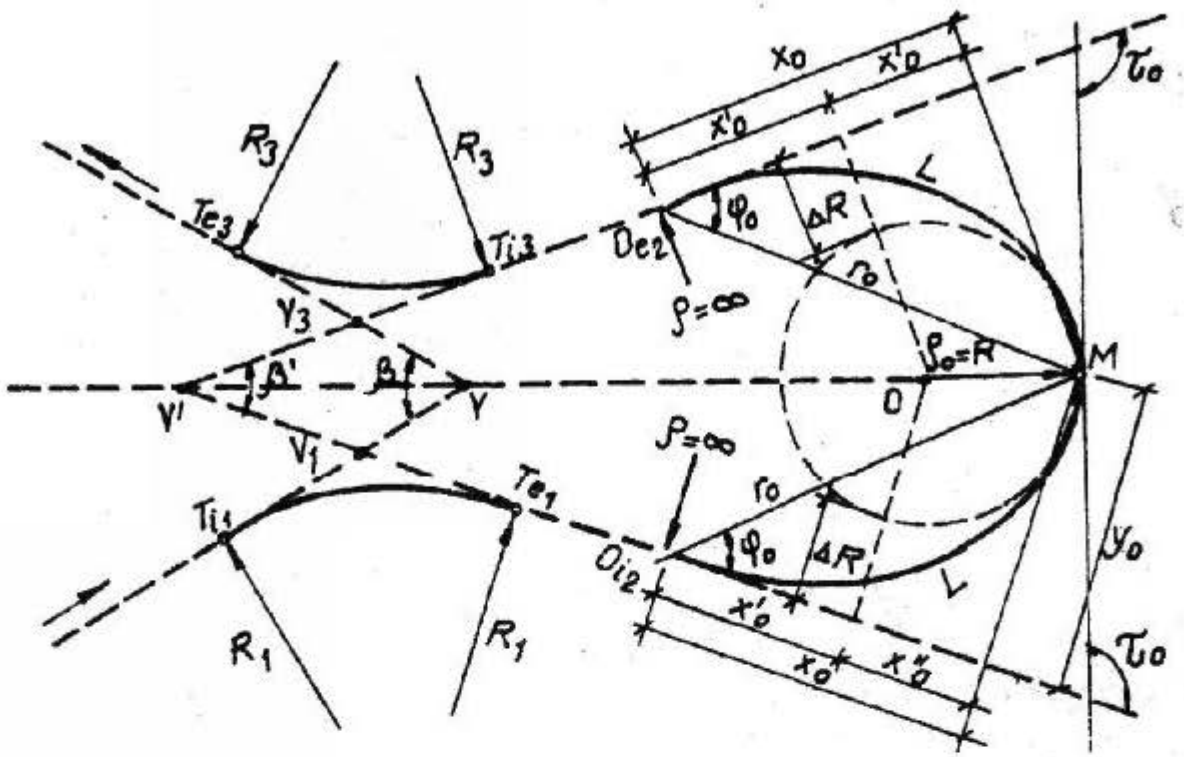


Fig. 6.9. Racordarea în turnantă.

Unghiul format cu axa absciselor de tangenta dusă în punctul M este variabila independentă pentru cele două arce de clotoidă:

$$\tau_0 = 100^g + \frac{\beta'}{2} \qquad [^g] \qquad (6.57)$$

Pentru această variabilă independentă elementele clotoidei de bază sunt: x'_b; x_b; y_b; ΔR_b etc. Pentru găsirea coeficientului de omotetie se impune, de regulă, raza racordării în turnantă (R), după care se calculează celelalte elemente geometrice ale clotoidei, pe baza proprietății de omotetie.

Racordarea în turnată se poate rezolva şi prin clotoide simetrice sau nesimetrice cu arc de cerc central.

f. **Racordările ovoidale** (fig. 6.10) apar în cazul a două curbe succesive de acelaşi sens, când aliniamentul intermediar se înlocuieşte cu o racordare progresivă.

Practic în situația curbelor succesive de acelaşi sens se recomandă înlocuirea celor două curbe cu una singură cu rază mai mare. Astfel, normativele româneşti prevăd înlocuirea a două curbe succesive de acelaşi sens de raze $R_1 = R_2 ... 1{,}5R_2$, printr-o singură curbă de rază R_3, dacă aliniamentul intermediar este mai scurt decât valoarea razei R_1.

Racordările ovoidale pot fi **exterioare** sau **interioare**. Racordările exterioare pot fi la rândul lor:

- **simetrice** atunci când razele curbelor circulare care se racordează (R_1 şi R_2) sunt egale şi deci lungimile arcelor de clotoidă (L_1 şi L_2) sunt egale (fig. 6.10.a şi 6.10.b);

- **nesimetrice** dacă razele curbelor circulare diferă între ele (fig. 6.10.c). Pentru această situaţie se recomandă rezolvarea cu un singur arc de clotoidă (fig. 6.10.d).

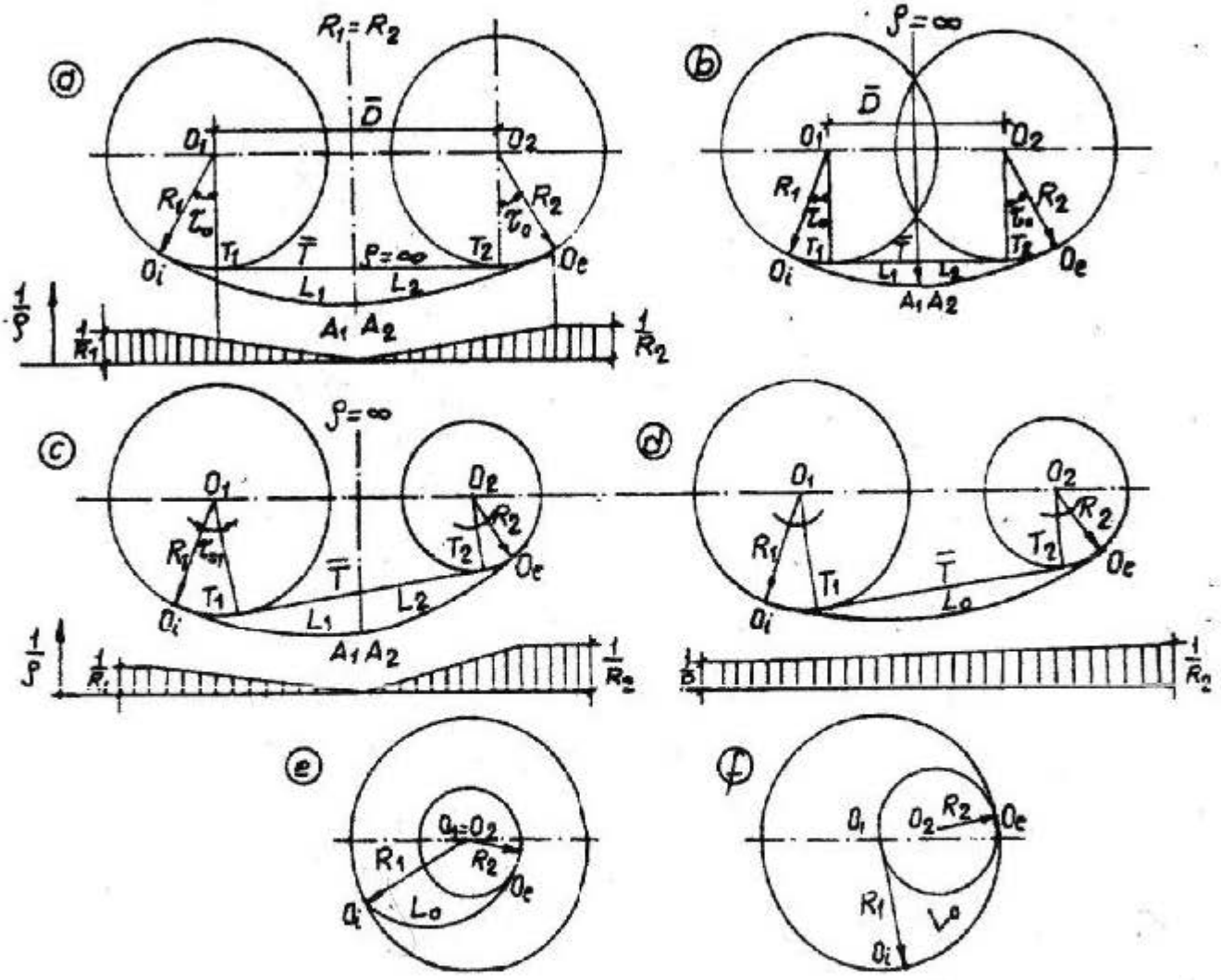


Fig. 6.10. Racordări ovoidale.

La racordările ovoidale interioare cercul de rază mai mică este situat în interiorul cercului de rază mai mare. Centrele de curbură pot să coincidă (fig. 6.10.e) sau să fie diferite (fig. 6.10.f).

Pentru exemplificare se prezintă un mod de rezolvare a racordării ovoidale exterioare, cu un singur arc de clotoidă (fig. 6.11).

Lungimea minimă a clotoidei (L_o) rezultă din condiţia limitării variaţiei acceleraţiei normale la valoarea J (vezi condiţia 5.18) pe durata parcurgerii racordării între razele R_1 şi R_2. Deci:

$$\frac{1}{J}\left(\frac{v^2}{R_2}-\frac{v^2}{R_1}\right)=\frac{L}{v} \qquad (6.58)$$

$$L_0 \geq \frac{v^3}{J}\cdot\frac{R_1-R_2}{R_1\cdot R_2}=\frac{V^3}{47J}\cdot\frac{R_1-R_2}{R_1\cdot R_2} \quad [m] \qquad (6.59)$$

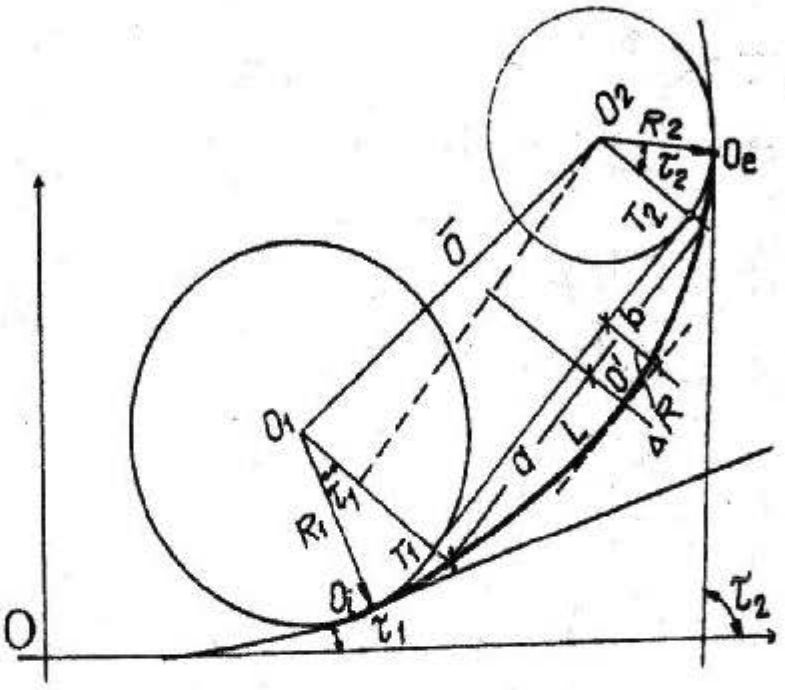


Fig. 6.11. Racordare ovoidală exterioară cu un singur arc de clotoidă.

Clotoida este tangentă în punctul O' la o dreaptă paralelă cu segmentul T_1T_2 şi situată faţă de aceasta la distanţa ΔR, care se poate calcula în modul următor:

$$\Delta R=\frac{L_0^2}{24}\cdot\frac{R_1-R_2}{R_1\cdot R_2} \quad [m] \qquad (6.60)$$

Pentru definirea punctului de tangenţă se utilizează condiţia de proporţionalitate a racordării, definită prin:

$$\frac{a}{b}=\frac{R_1}{R_2} \quad şi \quad \overline{T_iT_e}=a+b \qquad (6.61)$$

Din ecuaţia clotoidei rezultă:

$$A^2=R_1\cdot L_1=R_2\cdot L_2 \qquad (6.62)$$

$$\frac{R_1}{R_2}=\frac{L_2}{L_1}\Rightarrow\frac{R_1-R_2}{R_2}=\frac{L_2-L_1}{L_1}=\frac{L_0}{L_1} \qquad (6.63)$$

$$L_1=L_0\cdot\frac{R_2}{R_1-R_2}\ \text{şi}\ L_2=L_0\cdot\frac{R_1}{R_1-R_2} \qquad [m] \qquad (6.64)$$

Dacă se cunoaşte R_1 şi L_1 se determină unghiul τ_1 cu relaţia 6.13 ($\tau_1 = L_1/2R_1$) şi apoi parametrul clotoidei cu relaţia 6.12 sau 6.14. Cunoscând parametrul clotoidei A se poate determina unghiul τ_2 şi apoi lungimea L_2, pentru raza R_2.

6.5. Racordări cu arce de cerc de raze diferite

În cadrul racordărilor care se rezolvă cu două sau mai multe arce de cerc cu raze diferite se reţin arcul de cerc cu rază dublă şi curbele policentrice.

a. Arcul de cerc cu rază dublă poate să înlocuiască pentru racordări mai puţin exacte (drumuri de exploatare şi mai puţin la drumuri publice pentru trafic redus) arcul de curbă progresivă.

În acest fel arcul de cerc de rază **2R** face legătura dintre aliniament şi arcul de cerc central de rază **R**.

Introducerea arcului de cerc de rază **2R** se face prin deplasarea arcului de cerc primitiv (iniţial), tangent la aliniament în punctul T_i, spre interior cu cantitatea **ΔR**, precum şi cu lungirea racordării iniţiale. Arcul de cerc de rază **2R** trebuie să fie tangent la aliniament şi la arcul de cerc de rază **R** şi va fi împărţit în două părţi egale de perpendiculara T_iC_1 (fig. 6.12).

Pentru a rezolva grafic racordarea se începe cu desenarea arcului primitiv de rază **R + ΔR**, tangent la aliniament în punctul T_i, după care se construiesc două drepte paralele cu abscisa (aliniamentul) şi egal distanţate cu cantitatea **ΔR** (valoare care este influenţată de raza racordării şi de viteza de proiectare). Rezultă punctele A şi B pe arcul de cerc de rază **R**, iar intersecţia liniei AB cu aliniamentul determină punctul D. Perpendiculara ridicată din punctul D pe aliniament se intersectează cu prelungirea razei BC_1 în punctul C_2, care este chiar centrul cercului de rază **2R**. Rezultă că $\overline{BA}=\overline{AD}$, deoarece triunghiurile AA'B şi DD'A sunt identice. În plus triunghiurile ABC_1 şi DBC_2 sunt asemenea, ceea ce conduce la constatarea că $\overline{BC_2}=\overline{DC_2}=2R$ şi $\overline{BC_1}=\overline{AC_1}=R$.

Proiecţia arcelor de cerc DA" şi A"B pe direcţia aliniamentului are aceeaşi valoare (notată cu **a**) şi se numeşte **mărime divizionară**. Suma mărimilor divizionare reprezintă proiecţia arcului de cerc de rază **2R** pe direcţia aliniamentului care se notează cu L'. Mărimea divizionară a rezultă din triunghiul EAB, funcţie de **ΔR** şi prin neglijarea termenului ΔR^2, astfel:

$$\overline{A'B^2} = a^2 = \Delta R(2R - \Delta R) \quad \text{sau: } a = \sqrt{2R \cdot \Delta R} \qquad [m] \qquad (6.65)$$

Dacă se compară arcul de cerc de rază dublă cu parabola cubică atunci se constată că în ambele cazuri tangenta teoretică T_i se situează pe verticala care împarte curbele progresive în două părți egale. Pe de altă parte, dacă se consideră valori egale pentru deplasarea arcului de cerc (ΔR) şi notând cu **L** lungimea parabolei cubice (caz în care $\Delta R = L/24R$), se poate calcula lungimea **L'** a arcului de cerc de rază dublă:

$$L' = 2a = \sqrt{8R \cdot \Delta R} = \sqrt{8R \cdot \frac{L^2}{24R}} \quad \text{sau: } L' = \frac{L}{\sqrt{3}} = 0{,}58L \quad [m] \quad (6.66)$$

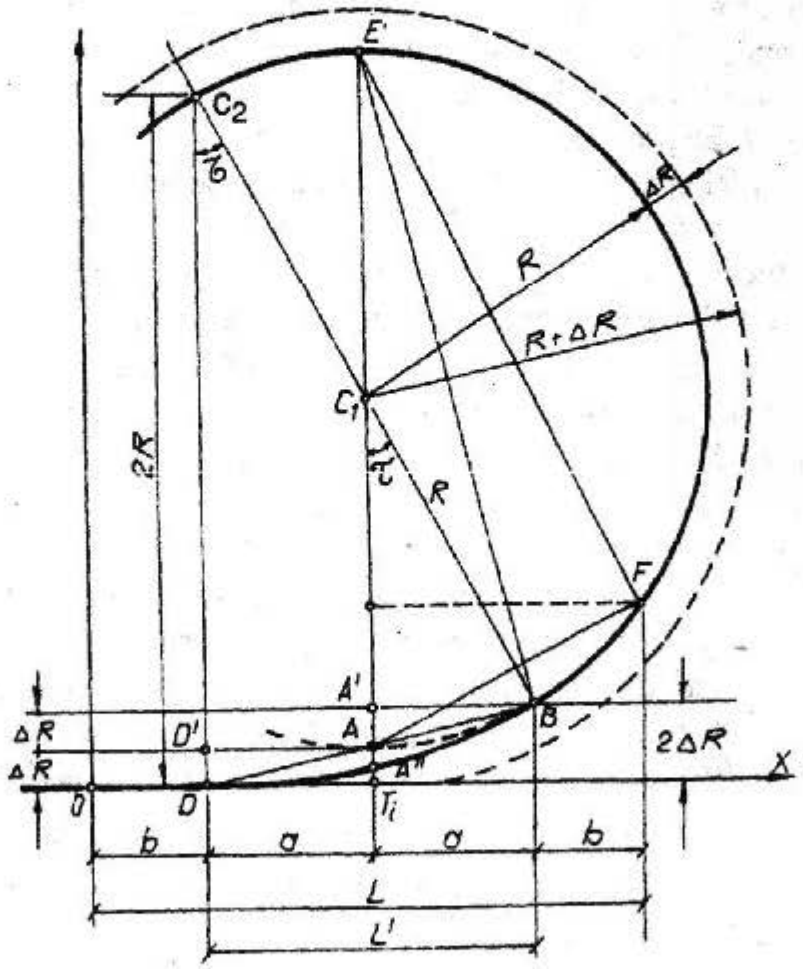


Fig. 6.12. Arcul de cerc cu rază dublă.

Rezultă că lungimea arcului de cerc de rază dublă (L'), în condiții identice (aceeaşi deplasare a arcului primitiv **ΔR**), este mai mică decât lungimea unei curbe progresive exacte (L) cu cantitatea **2b** (fig. 6.12), care se poate calcula astfel:

$$2b = L - L' = L - \frac{L}{\sqrt{3}} = \frac{\left(\sqrt{3}-1\right)L}{\sqrt{3}} = 0{,}42L \qquad [m] \qquad (6.67)$$

Dar dacă se ţine seama că $2a = L/\sqrt{3}$ (vezi relaţia 6.66) şi $2b = L - L/\sqrt{3}$ rezultă:

$$2a + 2b = L = 2a\sqrt{3} \qquad (6.68)$$

$$2b = 2a\left(\sqrt{3}-1\right) = 1{,}464a \quad \text{sau: } b = 0{,}732a \qquad [m] \qquad (6.69)$$

Lungimea **b** se numeşte **depăşirea radioidei teoretice** şi reprezintă jumătate din diferenţa de lungime care există între radioida exactă şi arcul de cerc cu rază dublă.

Lungimea mai mică a arcului de cerc de rază dublă decât a curbelor progresive constituie un dezavantaj în ceea ce priveşte confortul circulaţiei, deoarece variaţia în timp a acceleraţiei normale este mai mare (vezi pct. 5.4).

Alte dezavantaje ale arcului de cerc cu rază dublă sunt legate de modul de variaţie a curburii pe întreaga lungime a racordării (variaţie în două trepte şi nu liniar ca la parabola cubică şi clotoidă), de inconvenientele de trasare pe teren a racordării etc.

b. Curbele policentrice au, după cum le spune şi numele, mai multe centre (3 sau 5) şi deci raze diferite. Aceste curbe se întâlnesc mai frecvent la racordarea bordurilor în intersecţii de drumuri urbane.

Curba policentrică cea mai utilizată constă într-o racordare simetrică cu două mărimi ale razei, şi anume **R** şi **3R** (4 m şi 12 m, sau 6 m şi 18 m, respectiv 10 m şi 30 m).

O astfel de racordare este prezentată în fig. 6.13.

Modul de calcul al elementelor principale ale acestei curbe este prezentat în continuare:

- coordonatele carteziene ale puntului S, luând ca abscisă prelungirea aliniamentului:

$$x = R_1 \sin\tau = 3R\cdot\sin\tau \qquad [m] \qquad (6.70)$$

$$y = R_1\left(1-\cos\tau\right) = 3R\left(1-\cos\tau\right) \qquad [m] \qquad (6.71)$$

- deplasarea arcului de rază **R** (ΔR) şi abscisa acestuia (x'):

$$\Delta R = \left(R_1 - R\right)\cdot\left(1-\cos\tau\right) = 2R\left(1-\cos\tau\right) \qquad [m] \qquad (6.72)$$

$$x' = \left(R_1 - R\right)\sin\tau = 2R\cdot\sin\tau \qquad [m] \qquad (6.73)$$

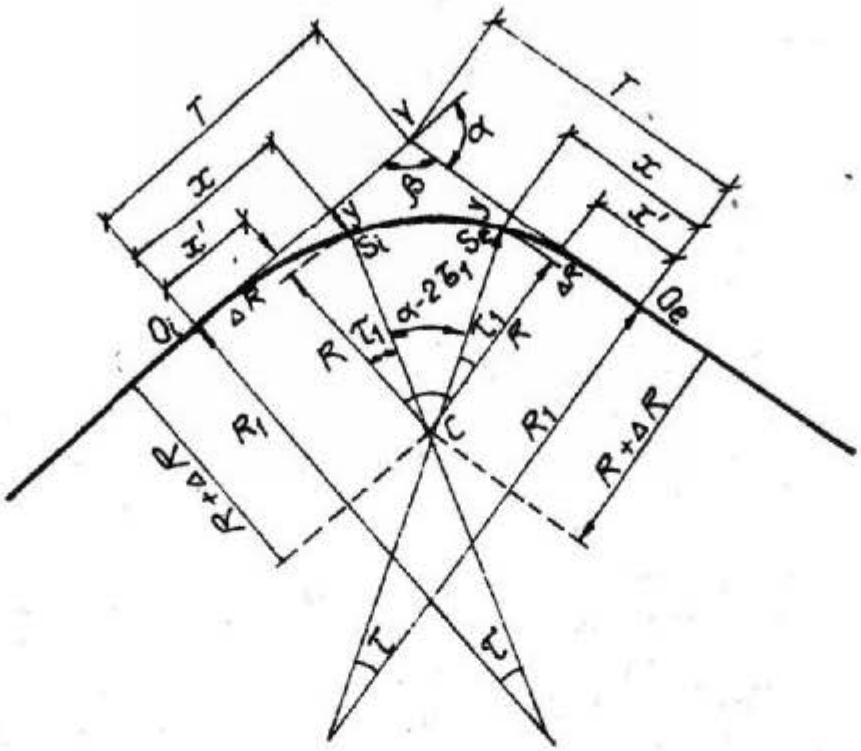


Fig. 6.13. Curbă policentrică simetrică
(R_1:R:R_1 = 3:1:3).

- tangenta **T** şi lungimea racordării **C**:

$$T = x' + (R + \Delta R)\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} \qquad [m] \qquad (6.74)$$

$$C = \frac{\pi \cdot R \cdot (\alpha - 2\tau)^g}{200^g} + \frac{\pi \cdot 3R \cdot 2\tau^g}{200^g} = \frac{\pi R(\alpha + 4\tau)^g}{200^g} \qquad [m] \qquad (6.75)$$

În afara curbelor policentrice simetrice, se pot proiecta şi racordări nesimetrice fie cu două arce de cerc de raze diferite (de exemplu raportul razelor este: R:R_1 = 1:3), fie cu trei arce de cerc cu raze distincte (de exemplu raportul razelor este: R_1:R:R_2 = 2:1:3).

7. SUPRAÎNĂLȚAREA ÎN CURBĂ

Pentru diferite situații (de exemplu: evitarea lucrărilor mari de terasamente sau a lucrărilor de artă costisitoare, ocolirea unor obstacole sau zone dificile, atingerea unor puncte obligate etc.) proiectarea racordărilor în plan nu se poate efectua cu raze suficient de mari pentru a micşora efectul defavorabil al forței centrifuge la limite admise. Din aceste motive, profilul transversal al căii de comunicație se va supraînălța în exteriorul curbei, în așa fel încât panta transversală unică spre interiorul curbei să participe la combaterea efectului defavorabil al forței centrifuge.

7.1. Supraînălțarea părții carosabile în curbă

Pierderea stabilității autovehiculului sub acțiunea forței centrifuge se poate face prin derapaj (deplasarea laterală a vehiculului spre exteriorul curbei) sau prin răsturnarea acestuia spre exteriorul curbei. La combaterea derapajului contribuie forța de frecare dintre pneuri şi cale, precum şi panta unică a căii îndreptată spre interiorul curbei.

Supraînălțarea maximă a părții carosabile se obține pentru curbele proiectate cu raza minimă (R_m) pentru o anumită viteză de proiectare (V) şi are valoarea de 7 %.

7.1.1. Stabilitatea vehiculelor la derapaj şi răsturnare. Supraînălțarea teoretică

Se va considera pentru început că partea carosabilă a drumului în profil transversal este orizontală. Pentru acest caz asupra vehiculului acționează următoarele forțe (fig. 7.1):

- forța centrifugă (F_c) aplicată în centrul de greutate al vehiculului, care poate produce derapajul sau răsturnarea mijlocului de transport. Pe lângă aceste

efecte, forța centrifugă poate conduce la instabilitatea mărfurilor transportate, lipsa de confort a călătorilor (dezechilibru), solicitări inegale ale mijlocului de transport și ale căii etc.

Forța centrifugă pentru un vehicul de masă **m** (în kg), care parcurge o curbă de rază **R** (în m) cu viteza v (în m/s), respectiv **V** (în km/h) are expresia:

$$F_c = \frac{m \cdot v^2}{R} = \frac{G}{g} \cdot \frac{V^2}{13R} = \frac{G \cdot V^2}{127R} \quad [N] \qquad (7.1)$$

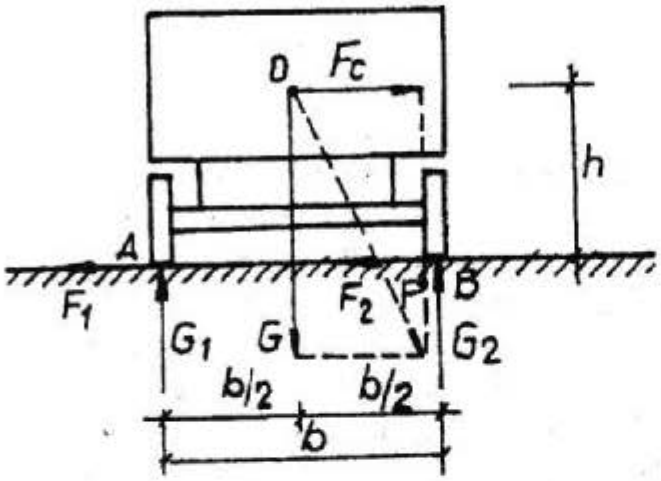


Fig. 7.1. Stabilitatea vehiculelor în curbă în ipoteza părții carosabile orizontale.

- forța de frecare (F) la contactul dintre pneuri și suprafața îmbrăcămintei rutiere ($F = F_1 + F_2$), unde F_1 și F_2 reprezintă reacțiunile transversale aferente roților de pe o parte a vehiculului. Forța de frecare este direct proporțională cu greutatea vehiculului (G) și cu coeficientul de frecare (f) dintre pneuri și suprafața de rulare.

Pentru situațiile sus-menționate **derapajul nu se produce** dacă este îndeplinită următoarea condiție:

$F \geq F_c$; deci dacă: (7.2)

$$G \cdot f \geq \frac{G \cdot V^2}{127R}; \quad \text{respectiv: } f \geq \frac{V^2}{127R} \qquad (7.3)$$

în care: f este coeficientul de frecare transversală dintre pneuri și suprafața îmbrăcămintei rutiere.

Coeficientul de frecare are valori cuprinse în intervalul 0,1...0,8, funcție de natura îmbrăcămintei rutiere, suprafața pneurilor, viteza vehiculului și condițiile climaterice. În mod curent, pentru îmbrăcăminți rutiere moderne uscate, coeficientul de frecare are valori de 0,3...0,6. Pentru condiții climaterice nefavorabile (suprafață umedă, noroi, zăpadă, polei etc.) coeficientul de frecare se reduce semnificativ (de exemplu: pentru polei f = 0,06).

Pentru asigurarea confortului circulației nu trebuie să se conteze pe valoarea maximă a coeficientului de frecare, ci numai pe **mobilizarea parțială a frecării**, prin luarea unui coeficient de frecare mai mic: f = 0,10...0,30. Fiind cunoscută (impusă) valoarea coeficientului de frecare f din condiții de comoditate și confort,

relația 7.3 poate conduce la calcularea vitezei maxime (V) într-o anumită curbă sau a razei minime a racordării (R_{min}) pentru o viteză dată:

$$V = \sqrt{127 R f} \qquad [km/h] \qquad (7.4)$$

$$R_{min} = \frac{V^2}{127 f} \qquad [m] \qquad (7.5)$$

Relațiile 7.4 și 7.5 conduc fie la valori reduse ale vitezei admise în condiții geometrice impuse (mărimea razei), fie la valori ale razei necesare exagerat de mari. Rezultă că acceptarea circulației în curbă pe un profil transversal cu suprafața orizontală este exclusă din considerente tehnice și economice.

Condiția de stabilitate la răsturnare se pune îndeosebi pentru vehiculele cu centru de greutate ridicat și cu distanța **b** între roți mică. În aceste situații, sub efectul forței centrifuge, se poate produce răsturnarea vehiculului în jurul punctului de contact al roților exterioare (B în fig. 7.1). Condiția de stabilitate la răsturnare este îndeplinită dacă:

$$\frac{G \cdot b}{2} \geq F_c \cdot h \quad \text{sau:} \quad \frac{b}{2h} \geq \frac{V^2}{127R} \qquad (7.6)$$

La autovehiculele moderne se asigură prin construcție $\frac{b}{2h} \cong 1$ și deci:

$$\frac{b}{2h} > f \geq \frac{V}{127R} \qquad (7.7)$$

ceea ce înseamnă că dacă condiția de stabilitate la derapaj este îndeplinită este satisfăcută implicit și condiția de stabilitate la răsturnare.

Din punct de vedere strict teoretic, asigurarea stabilității vehiculului la derapaj și răsturnare poate fi realizată și prin construcția căii, care în curbă poate avea o pantă unică spre interior, favorabilă combaterii în întregime a efectului produs de forța centrifugă.

Supraînălțarea teoretică este înclinarea ideală a părții carosabile, spre interiorul curbei pentru care rezultanta **P** dintre greutatea vehiculului (G) și forța centrifugă (F_c) ar acționa perpendicular pe suprafața de rulare (fig. 7.2), adică efectul defavorabil al forței centrifuge ar fi combătut numai prin supraînălțarea profilului transversal.

Condiția de stabilitate la derapaj în acest caz este următoarea:

$$i = tg\alpha = \frac{F_c}{G} = \frac{V^2}{127R} \qquad [-] \qquad (7.8)$$

Se observă că, pentru o rază **R**, supraînălțarea teoretică depinde numai de

viteza de circulație. Rezultă că scopul urmărit de supraînălțarea teoretică *(combaterea în întregime a efectului defavorabil al forței centrifuge) este atins numai* pentru vehiculele care circulă cu viteza V (în km/h).

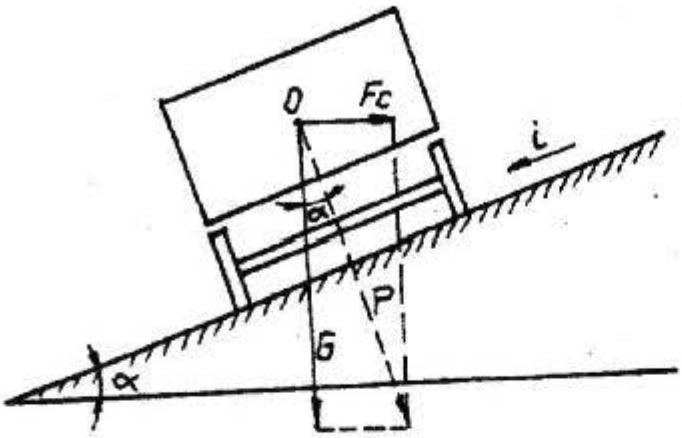


Fig. 7.2. Supraînălțarea teoretică.

Practic însă pe drum circulă vehicule cu viteze foarte variate. Rezultă că vehiculele cu viteză mai mare decât viteza V de calcul vor avea tendința de derapare spre exteriorul curbei, iar cele cu viteza mai mică vor avea tendința de pierdere a stabilității spre interiorul curbei.

Pe de altă parte, relația 7.8 conduce la valori foarte mari ale pantei transversale. De exemplu, pentru V = 40 km/h și R = 100 m, rezultă i = 12,6 %, deci mult mai mare decât panta maximă admisă i = 7 %.

În aceste condiții, rezultă că din punct de vedere practic prezintă interes soluția de combatere a efectului nefavorabil al forței centrifuge atât prin frecare, cât și prin supraînălțare.

7.1.2. Combaterea derapajului prin frecare și supraînălțare

Din cele prezentate anterior a rezultat concluzia că împiedicarea derapajului vehiculelor rutiere nu se poate efectua practic numai prin frecare sau numai prin supraînălțare.

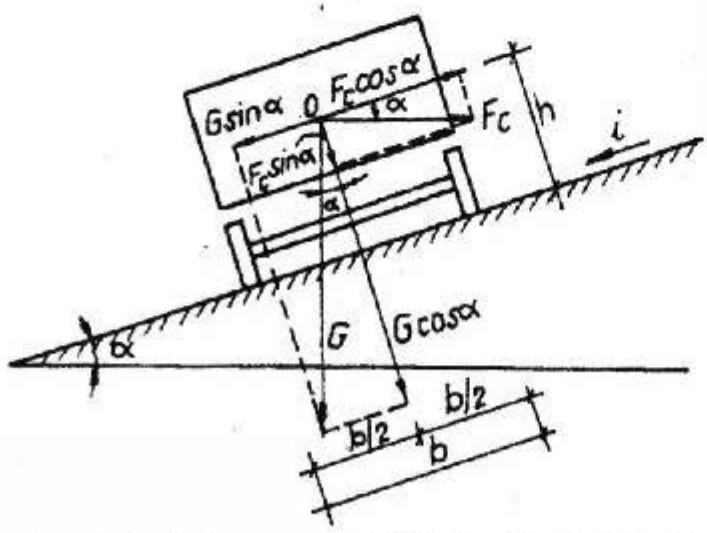


Fig. 7.3. Asigurarea stabilității vehiculului prin frecare și supraînălțare.

Pentru asigurarea stabilității vehiculelor în curbă este deci necesar să se mizeze pe acțiunea simultană a frecării dintre pneuri și suprafața de rulare și a supraînălțării.

Prin descompunerea forțelor principale care acționează asupra vehiculului în curbă pe o direcție paralelă cu calea și pe una perpendiculară pe cale (fig. 7.3), rezultă o componentă favorabilă producerii derapa-

jului $(F_c \cdot \cos\alpha)$, care trebuie combătută prin frecare şi supraînălţare. Condiţia de stabilitate la derapaj se poate exprima, în cazul unghiurilor foarte mici pentru care se acceptă că $\sin\alpha \cong \operatorname{tg}\alpha = i$ şi $\cos\alpha \cong 1$, în felul următor:

$$F_c \cdot \cos\alpha \le G \cdot \sin\alpha + f\left(G \cdot \cos\alpha + F_c \cdot \sin\alpha\right) \tag{7.9}$$

$$F_c \le G(f+i) + F_c \cdot f \cdot i \tag{7.10}$$

$$i + f \ge \frac{F_c}{G} = \frac{V^2}{127R} \qquad [-] \tag{7.11}$$

deoarece termenul $F_c \cdot f \cdot i \cong 0$, deci se poate neglija în raport cu ceilalţi termeni.

Relaţia 7.11 reprezintă condiţia generală de stabilitate a vehiculelor la derapaj şi poate conduce la calculul vitezei maxime în curbă (V_{max}), a razei minime a racordării (R_{min}), sau a pantei transversale (i_{min}) care asigură stabilitatea, pentru anumite condiţii impuse:

$$V_{max} = \sqrt{127R(f+i)} \qquad [km/h] \tag{7.12}$$

$$R_{min} = \frac{V^2}{127(f+i)} \qquad [m] \tag{7.13}$$

$$i_{min} = \left(\frac{V^2}{127R} - f\right) \cdot 100 \qquad [\%] \tag{7.14}$$

Dacă se verifică **stabilitatea la răsturnare** în cazul profilului transversal supraînălţat, atunci se poate scrie, conform fig. 7.3, relaţia 7.15, care se poate transforma apoi pe baza observaţiilor făcute anterior, astfel:

$$\left(G \cdot \cos\alpha + F_c \cdot \sin\alpha\right) \cdot \frac{b}{2} \ge \left(F_c \cdot \cos\alpha - G \cdot \sin\alpha\right) \cdot h \tag{7.15}$$

$$\left(G + F_c \cdot i\right) \cdot \frac{b}{2h} \ge F_c - G \cdot i \tag{7.16}$$

$$\frac{b}{2h} + i \ge \frac{V^2}{127R} \cdot \left(1 - i \cdot \frac{b}{2h}\right) \tag{7.17}$$

$$\frac{b}{2h} + i \ge \frac{V^2}{127R} \tag{7.18}$$

deoarece pentru unghiuri mici se poate considera că $\sin\alpha \cong tg\alpha = i$ şi $\cos\alpha \cong 1$, iar termenul $i \cdot \frac{b}{2h}$ se poate neglija ($i_{max} = 0,07$ şi $b/2h \cong 1$).

Comparând relaţiile 7.11 şi 7.18 rezultă că şi în acest caz, dacă stabilitatea la derapaj este asigurată atunci este asigurată şi stabilitatea la răsturnare ($b/2h \cong 1$, mult mai mare decât $i_{max} = 0,07$).

Din condiţii de siguranţă, comoditate şi confort, forţa de frecare care se realizează la parcurgerea unei curbe (forţa de frecare mobilizată) trebuie să fie tot timpul mai mică decât forţa de frecare maximă ce poate lua naştere între pneuri şi suprafaţa de rulare. În proiectare acest aspect al problemei se rezolvă prin luarea în calcule a unui coeficient de frecare (f_m) inferior coeficientului de frecare real (f), numit coeficient de frecare mobilizată ($f_m < f$). În aceste condiţii raportul f/f_m are semnificaţia unui coeficient de siguranţă la derapare.

Pentru aprecierea realizării condiţiilor de confort la proiectarea unui drum, în normele româneşti s-a introdus aşa-numitul **coeficient de confort (K)**, definit de raportul dintre contribuţia frecării şi contribuţia supraînălţării la combaterea derapajului în curbă:

$$K = \frac{f_m}{i} \qquad [-] \qquad (7.19)$$

Pentru drumurile publice valorile coeficientului de confort se încadrează în intervalul 1,5...3,0, cu un coeficient de frecare mobilizată $f_m = 0,05...0,15$ şi cu supraînălţarea $i = 2,5...7,0$ %. Cu cât valoarea lui K este mai redusă, respectiv contribuţia supraînălţării este mai mare, cu atât condiţiile de confort sunt mai bune.

Condiţiile de confort cele mai bune se obţin în cazul când contribuţia frecării la combaterea derapajului este egală cu contribuţia supraînălţării ($K = 1$). În acest caz, relaţiile 7.12...7.14 conduc la valori mari ale razei şi ale supraînălţării sau la valori mici ale vitezei de circulaţie. Practic se acceptă din considerente tehnice şi economice, un coeficient de confort mai mare (de exemplu $K = 2$), pentru care relaţia de bază 7.11 devine:

$$f_m + i = 3i = \frac{V^2}{127R} \quad \text{sau:} \quad i = \frac{V^2}{381R} \qquad [-] \qquad (7.20)$$

Respectiv:

$$i = \frac{V^2}{381R} \cdot 100 = 0,262 \cdot \frac{V^2}{R} \qquad [\%] \qquad (7.21)$$

În aceste condiţii, pentru o curbă de rază **R**, supraînălţarea (panta transversală unică) va prelua 1/3 din forţa centrifugă, restul de 2/3 fiind preluată prin frecarea dintre pneuri şi îmbrăcămintea rutieră.

7.1.3. Raze caracteristice

În capitolul 4 au fost definite razele caracteristice ale curbelor de drumuri în conformitate cu normativele românești în vigoare. Din punctul de vedere al amenajării curbelor în profil transversal, definițiile anterioare date razelor caracteristice trebuie completate astfel:

- profilul transversal în curbele cu raza $R \geq R_r$ rămâne identic cu cel din aliniament (se acceptă circulația pe deverul negativ);
- pe lungimea curbelor cu raza $R_c \leq R < R_r$ profilul transversal va fi convertit (înclinare unică, egală cu cea din aliniament, spre interiorul curbei);
- pentru curbele cu raza $R_m \leq R < R_c$, profilul transversal este necesar să fie supraînălțat (înclinare unică, mai mare decât cea din aliniament, spre interiorul curbei). Corespunzător unei anumite viteze de proiectare, nu se permite rezolvarea racordării cu raze $R < R_m$.

În aceste condiții, deducerea valorii razelor caracteristice pentru o anumită viteză de proiectare se poate face astfel:

a. dacă pentru **raza recomandabilă (R_r)** este admisă circulația pe deverul negativ atunci pentru o curbă la stânga (fig. 7.4) condiția de echilibru se poate scrie în felul următor:

$$f\left(G\cdot\cos\alpha - F_c\cdot\sin\alpha\right) \geq F_c\cdot\cos\alpha + G\cdot\sin\alpha \qquad (7.22)$$

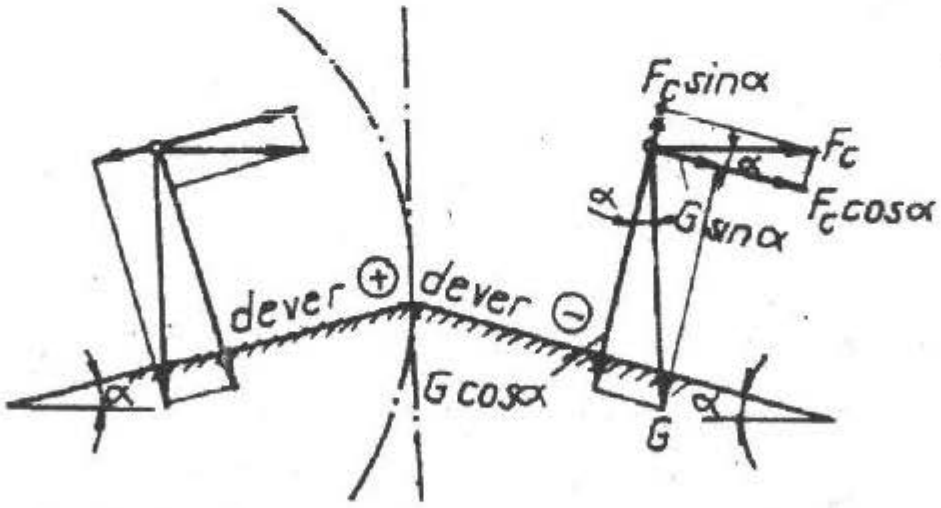


Fig. 7.4. Condiția de deplasare a vehiculului pe deverul negativ.

Pentru unghiuri foarte mici se acceptă $\sin\alpha \cong \operatorname{tg}\alpha = i$ și $\cos\alpha \cong 1$, iar produsul $f \cdot i$ se poate neglija, condiții în care, la limită, inegalitatea 7.22 se transformă astfel:

$$f - i \geq \frac{V^2}{127R} \qquad (7.23)$$

Deci raza recomandabilă (R_r) pentru o anumită viteză de proiectare, o anumită frecare mobilizată (f_m) şi panta transversală din aliniament (i = p = 2,0...2,5 %) este dată de expresia:

$$R_r = \frac{V^2}{127(f_m - p)} \quad [m] \qquad (7.24)$$

b. raza curentă (R_c) implică circulaţia pe un dever pozitiv egal cu înclinarea părţii carosabile din aliniament (profil convertit). Rezultă că pentru calcularea razei curente, pentru o anumită viteză de proiectare **V**, se aplică relaţia 7.13 pentru condiţia limită, în care i = p = 0,020...0,025 (funcţie de panta transversală proiectată în aliniament) şi f = f_m:

$$R_c = \frac{V^2}{127(f_m + p)} \quad [m] \qquad (7.25)$$

c. rază minimă (R_m), care presupune circulaţia pe un dever pozitiv cu supraînălţarea admisă maximă (i = 0,07) şi mobilizând un coeficient de frecare f_m, se poate calcula pornind tot de la relaţia 7.13, acceptând condiţia limită:

$$R_m = \frac{V^2}{127(f_m + i)} = \frac{V^2}{127(f_m + 0,07)} \quad [m] \qquad (7.26)$$

Dacă se acceptă coeficientul de confort K = 2, deci f = f_m = 2i, relaţiile 7.24...7.26 devin:

$$R_r = \frac{V^2}{127(2p - p)} = \frac{V^2}{127p} \quad [m] \qquad (7.27)$$

$$R_c = \frac{V^2}{127(2p + p)} = \frac{V^2}{381p} \quad [m] \qquad (7.28)$$

$$R_m = \frac{V^2}{127(2i + i)} = \frac{V^2}{381 \cdot i} = \frac{V^2}{26,67} \quad [m] \qquad (7.29)$$

De exemplu, pentru V = 40 km/h, K = 2 şi p = 2,5 % valoarea razei curente este R_c = 170 m şi a razei minime R_m = 60 m, în conformitate cu valorile razelor caracteristice din tabelul 4.1. În schimb pentru a obţine valoarea razei recomandabile din tabelul 4.1, pentru V = 40 km/h, trebuie considerat un coeficient de confort K = 3 (R_r = 250 m), deci se acceptă condiţii de confort mai defavorabile (pentru K = 2, rezultă R_r = 500 m, deci condiţii de circulaţie mai bune dar condiţii de rezolvare a racordării mai dificile).

7.2. Supraînălțarea căii ferate în curbă

Pentru micşorarea efectului forței centrifuge, firul exterior de cale ferată, ca şi partea carosabilă la drumuri, se supraînalță în curbă. Supraînălțarea firului exterior de cale ferată în curbă trebuie efectuată în aşa fel încât rezultanta principalelor forțe care acționează asupra materialului rulant (greutatea şi forța centrifugă) să cadă întotdeauna între cele două şine. În caz contrar, apare pericolul de răsturnare sau confortul călătorilor poate fi compromis.

7.2.1. Necesitatea supraînălțării firului exterior în curbă

Asupra unui vehicul de cale ferată care circulă într-o curbă de rază **R** (în m), cu viteza **V** (în km/h), acționează forțele din fig. 7.5 (greutatea vehiculului **G** şi forța centrifugă $\mathbf{F_c}$), respectiv accelerațiile din fig. 7.6 (g = 9,81, în m/s^2, pe verticală şi $a_c = v^2/R$, în m/s^2, pe orizontală).

Se consideră cazul general al celor două fire denivelate, firul exterior fiind ridicat cu valoarea **h** față de firul interior. De asemenea, în calcule se va considera cazul prezentat în fig. 7.6, când asupra vehiculului acționează accelerațiile **g** şi $\mathbf{a_c}$. Prin proiectarea celor două accelerații pe direcția paralelă cu planul şinelor se obține accelerația transversală γ_t care acționează asupra călătorilor şi încărcăturii din vagon şi care are următoarea expresie:

$$\gamma_t = a_c \cdot \cos\alpha - g \cdot \sin\alpha \qquad [m/s^2] \qquad (7.30)$$

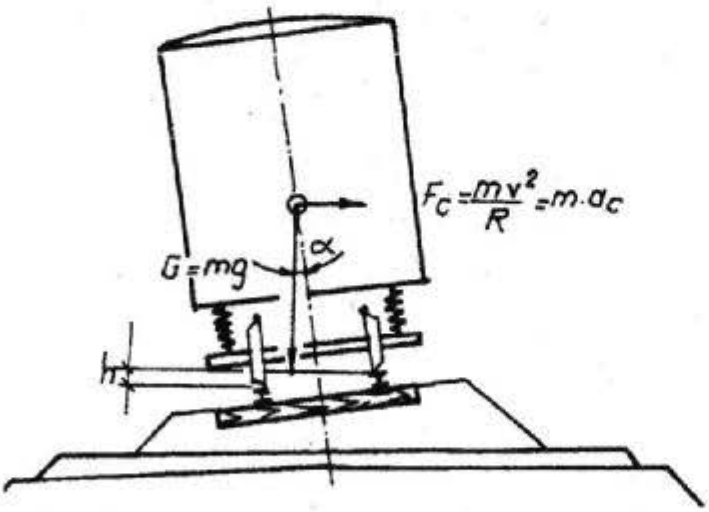


Fig. 7.5. Acțiunea forțelor asupra vehiculului în curbă.

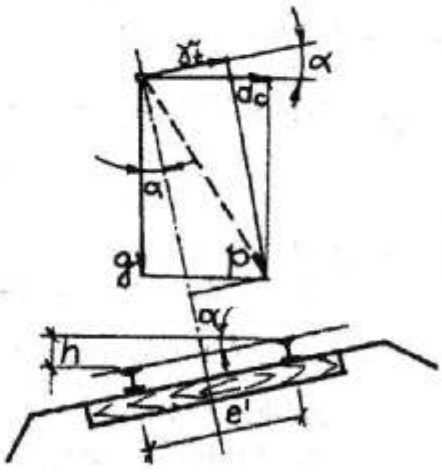


Fig. 7.6. Acțiunea accelerațiilor asupra vehiculului în curbă.

Cum însă unghiul α este foarte mic, se acceptă: $\sin\alpha \cong \operatorname{tg}\alpha = h/e'$ şi $\cos\alpha \cong 1$, unde **e'** reprezintă distanța dintre axele celor două şine (e' ≅ 1 500 mm), iar relația 7.30 devine:

$$\gamma_t = a_c \cdot \cos\alpha - g \cdot \frac{h}{e} = \frac{V^2}{13R} - 9{,}81 \cdot \frac{h}{e} \qquad [m/s^2] \qquad (7.31)$$

Pentru viteze mari, forţa centrifugă este mare, rezultând o acceleraţie transversală γ_t pozitivă. În acest caz, rezultanta **p** (fig. 7.6) se apropie de firul exterior, motiv pentru care se spune că există o **insuficienţă de supraînălţare**. Acelaşi fenomen se întâmplă şi dacă supraînălţarea dată căii este prea mică în raport cu viteza de circulaţie. Pentru viteze mici, sau pentru supraînălţări prea mari, acceleraţia γ_t este negativă, rezultanta **p** se apropie de firul interior şi se spune că există un **exces de supraînălţare**.

Călătorii resimt lipsa de supraînălţare printr-o proiectare spre exteriorul curbei, iar excesul de supraînălţare printr-o tendinţă de deplasare spre interiorul curbei.

În cazul ideal, rezultanta **p** cade la mijloc între cele două fire de şină, iar acceleraţia transversală γ_t este nulă, deci confortul şi siguranţa sunt asigurate. Dacă rezultanta **p** părăseşte mijlocul căii dar se menţine între cele două şine, apar uzuri inegale ale şinelor şi materialului rulant, iar condiţiile de confort se diminuează. Când rezultanta acceleraţiilor cade în afara distanţei dintre şine, apare pericolul de răsturnare.

Pentru cazul teoretic, când asupra vehiculului nu mai acţionează şi alte forţe provenite din excentricităţi de încărcare a vagoanelor, neregularităţi ale căii, vânt, mişcare de şerpuire, uzura inegală a bandajelor şi şinelor etc., se poate calcula valoarea supraînălţării **h** pentru o anumită rază **R** şi pentru o viteză de circulaţie **V** cunoscută. Pentru aceasta se admit anumite valori pentru acceleraţia transversală γ_t pentru care sunt asigurate condiţiile de siguranţa circulaţiei, comoditatea şi confortul călătorilor. Se apreciază că acceleraţia transversală γ_t trebuie să se înscrie în intervalul [-1,00...0,65] m/s^2 pentru a fi asigurate condiţiile de confort.

În realitate, calculele teoretice sunt alterate de multitudinea forţelor care acţionează asupra vagonului în curbă, motiv pentru care determinarea supraînălţărilor se referă mai mult la stabilirea valorilor limită ale lui **h** pentru anumite ipoteze de calcul şi la corelarea prin experimentări a mărimilor **R**; **V** şi **h**.

7.2.2. Calculul supraînălţării

Introducerea supraînălţării la căi ferate urmăreşte reducerea efectului forţei centrifuge pentru realizarea următoarelor obiective:

- asigurarea stabilităţii vehiculelor pentru viteze $V = 0...V_{max}$;
- asigurarea confortului călătorilor prin eliminarea sau limitarea valorii acceleraţiei transversale γ_t;
- uzura uniformă a materialului rulant şi a suprastructurii căii.

În curbele de cale ferată, supraînălţarea maximă prevăzută de reglementările în vigoare este de 150 mm, iar cea mai mică supraînălţare care se poate introduce este de 15 mm.

Tipurile de supraînălțări care se definesc în cadrul proiectării căilor ferate sunt următoarele:

- supraînălțarea normală (h_n), care este cea mai mică supraînălțare ce se aplică funcție de raza curbei (R), viteza maximă de circulație a trenurilor de călători (V) și insuficiența de supraînălțare (I);

- supraînălțarea maximă (h_{max}), care este cea mai mare supraînălțare ce se poate aplica într-o curbă. Supraînălțarea maximă se stabilește funcție de viteza medie a trenurilor de marfă (V_m), intensitatea traficului trenurilor de marfă pe zi (T_z) care determină valoarea excesului de supraînălțare (E) și de viteza maximă a trenurilor de călători (V);

- supraînălțarea limită (h_{lim}), care este supraînălțarea cea mai mare admisă în curbele cu raza mai mică de 300 m fără contrașine la firul interior. Supraînălțări mai mari decât h_{lim} în curbele cu raze mai mici de 300 m și fără contrașine pot crea pericolul deraierii la demarare în cazul opririi vehiculelor în curbă;

- supraînălțarea efectivă (h), care reprezintă supraînălțarea ce se aplică în curbă. Supraînălțarea efectivă se determină în funcție de raza curbei (R), viteza maximă a trenurilor de călători (V), insuficiența de supraînălțare (I), viteza medie a trenurilor de marfă (V_m), intensitatea zilnică a traficului trenurilor de marfă (T_z) și de excesul de supraînălțare (E).

Supraînălțarea normală (h_n) se calculează cu relația următoare:

$$h_n = 11{,}8\frac{V^2}{R} - I \qquad [mm] \qquad (7.32)$$

în care:

V este viteza maximă a trenurilor de călători, în km/h;

R - raza curbei, în m;

I - insuficiența de supraînălțare, în mm.

Insuficiența de supraînălțare (I) se determină cu formula următoare:

$$I = \frac{150}{1+S}\cdot\gamma_t \qquad [mm] \qquad (7.33)$$

în care:

S este coeficientul de suplețe al vehiculelor, care are valoarea de max. 0,4;

γ_t - accelerația transversală necompensată, în m/s^2.

La CFR, insuficiența de supraînălțare cu care se calculează supraînălțarea normală are valoarea I = 70 mm (pentru S = 0,4 și $\gamma_t = 0{,}65$ m/s^2).

În cazuri excepționale, cu aprobarea direcției linii, se poate admite o valoare mai mare a insuficienței de supraînălțare, și anume 90 mm (pentru S = 0,4 și $\gamma_t = 0{,}85$ m/s^2).

Supraînălțarea maximă (h_{max}) se determină cu relația următoare:

$$h_{max} = 11{,}8\frac{V_m^2}{R} + E \qquad [mm] \qquad (7.34)$$

în care:

V_m este viteza medie a trenurilor de marfă, în km/h, determinată cu relația următoare:

$$V_m = \frac{n_1 \cdot V_1 + n_2 \cdot V_2 + n_3 \cdot V_3 \cdots}{n_1 + n_2 + n_3 \cdots} \qquad [km/h] \qquad (7.35)$$

n_1; n_2; n_3 etc. reprezintă numărul trenurilor de marfă care circulă cu viteza V_1; V_2; V_3 (în km/h) etc.;

E - excesul de supraînălțare, în mm (E = 50 mm pentru un trafic de marfă zilnic $T_z > 60\,000$ t/zi; E = 60 mm pentru un trafic de marfă zilnic $T_z = 30\,000 \ldots 60\,000$ t/zi și E = 70 mm pentru un trafic de marfă zilnic $T_z < 30\,000$ t/zi).

Supraînălțarea limită (h_{lim}) se determină cu formula următoare:

$$h_{lim} = \frac{R - 50}{2} \qquad [mm] \qquad (7.36)$$

Supraînălțării limită îi corespunde o viteză limită (V_{lim}) care se determină cu relația următoare:

$$V_{lim} = \sqrt{\frac{h_{lim} + I}{11{,}8} \cdot R} \qquad [km/h] \qquad (7.37)$$

În relațiile 7.36 și 7.37 semnificația notațiilor este ce menționată anterior.

Pe liniile cu capacitate redusă de trafic, în curbele cu raza mai mică de 300 m se poate spori viteza de circulație peste valoarea V_{lim} prin aplicarea unei supraînălțări efective $h > h_{lim}$, cu condiția montării de contrașine pe firul interior de curbă.

În normele în vigoare privind construcția și întreținerea căii ferate (Instrucția 314/1989) sunt date tabelar valorile supraînălțării normale (h_n) și ale supraînălțării maxime (h_{max}), funcție de condițiile sus-menționate. Astfel, de exemplu, pentru o curbă cu raza R = 550 m și pentru o viteză maximă a trenurilor de călători V_{max} = 90 km/h, rezultă supraînălțarea normală h_n = 105 mm, iar pentru V_{max} = 90 km/h și V_{med} = 60 km/h, pentru un exces de supraînălțare E = 70 mm, rezultă supraînălțarea maximă h_{max} = 145 mm.

Supraînălțarea efectivă (h_{ef}) trebuie să respecte întotdeauna condiția următoare:

$$h_n \le h_{ef} \le h_{max} \qquad (7.38)$$

Determinarea supraînălțării efective (h_{ef}) se face pe sectoare de linii, în

conformitate cu normele CFR în vigoare. Se numeşte **sector de linie** porţiunea de linie dintre două staţii de cale ferată sau puncte de secţionare care are aceleaşi caracteristici ale circulaţiei (viteză maximă de circulaţie a trenurilor de călători, viteză medie a trenurilor de marfă, intensitate zilnică a trenurilor de marfă).

Metodologia de determinare a supraînălţării efective (h_{ef}) ţine seama, de asemenea, de numărul de curbe de pe sectorul de linie considerat (o singură curbă, o grupare de curbe sau mai multe curbe), astfel:

- pentru un sector de linie cu o singură curbă, se scot din tabele valorile supraînălţării normale (h_n) şi ale supraînălţării maxime (h_{max}). Dacă $\mathbf{h_n}$ este mai mic sau cel mult egal cu $\mathbf{h_{max}}$ atunci supraînălţarea efectivă este $h_{ef} = h_n$. În caz contrar, se reduce viteza de circulaţie în curbă până la o valoare care asigură respectarea condiţiei $h_n \leq h_{max}$, urmând ca supraînălţarea efectivă să fie egalăă cu $\mathbf{h_n}$;
- pe un sector de linie cu o grupare de curbe, se determină supraînălţarea efectivă (h_{ef}) pentru curba cu raza cea mai mică (R) din grupare, după metodologia descrisă anterior. Supraînălţările efective (h_{ief}) pentru celelalte curbe din grupare cu raza $R_i > R$ se determină cu relaţia următoare:

$$h_{ief} = h_{ef} \cdot \frac{R}{R_i} \qquad [mm] \qquad (7.39)$$

- pentru un sector de linie cu mai multe curbe, valoarea supraînălţării pentru grupările de curbe se determină ca şi în cazul anterior. Pentru curbele izolate de pe sectorul respectiv de linie, se alege curba cu raza **R** cea mai mică care asigură circulaţia cu viteza maximă şi respectarea condiţiei $h_n \leq h_{max}$. Pentru această curbă supraînălţarea efectivă este $h_{ef} = h_n$. Pentru celelalte curbe izolate de pe sector cu raza $R_i > R$, supraînălţările efective se calculează cu relaţia 7.39. În curbele cu raze mai mici decât raza minimă care asigură circulaţia cu viteză maximă ($R_i < R$), vitezele vor fi reduse până la valorile care asigură îndeplinirea condiţiei $h_n \leq h_{max}$, fiecare curbă fiind tratată ca şi în primul caz explicat.

Supraînălţările efective $\mathbf{h_{ief}}$ determinate cu relaţia de calcul 7.39 se rotunjesc din 5 în 5 mm în sus.

7.3. Rampa de racordare

Lungimea pe care se face trecerea de la profilul transversal din aliniament sub formă de acoperiş, la profilul supraînălţat de pe lungimea curbei centrale arc de cerc poartă denumirea de **rampă de racordare** (sau **rampa supraînălţării** la calea ferată). Operaţia prin care se realizează această transformare a profilului transversal poartă denumirea de **racordare în spaţiu**.

Introducerea supraînălţării profilului transversal se efectuează cu respectarea unor principii de proiectare specifice, funcţie de calea de comunicaţie terestră (drum sau cale ferată).

7.3.1. Rampa de racordare la drumuri

La drumuri, trecerea de la profilul transversal din aliniament, sub formă de acoperiş cu două pante **p** (în %) înclinate spre acostamente (vezi capitolul 2), la profilul transversal supraînălţat cu panta **i** (în %) spre interiorul curbei se efectuează în două etape, după cum urmează:

- **convertirea profilului transversal**, adică trecerea de la profilul sub formă de acoperiş la un profil cu pantă unică de valoare **p**, îndreptată spre interiorul curbei. Lungimea pe care se efectuează convertirea profilului transversal se ia din aliniament, astfel încât la intrarea în curbă, respectiv la ieşirea din curbă, profilul transversal să aibă panta unică **p** îndreptată spre interiorul racordării. Această lungime se notează de regulă cu l_{cs} (lungime de convertire şi supralărgire);

- **supraînălţarea profilului transversal**, adică majorarea pantei unice de la valoarea **p** la valoarea **i**, determinată din normative, funcţie de viteza de proiectare şi raza racordării. Lungimea pe care se face supraînălţarea este egală cu lungimea curbei progresive (l_s = L), în cazul racordărilor cu clotoide şi arc de cerc central, respectiv egală cu o lungime l_s, precizată de normativele în vigoare, funcţie de viteza de proiectare şi raza racordării, pentru racordări cu clotoide cap la cap (tabelul 7.1). În cazul racordărilor cu clotoide cap la cap, în partea centrală a racordării, pe lungimea $2(L-l_s)$, profilul transversal se păstrează supraînălţat.

În tabelul 7.1 se prezintă după normele româneşti valoarea lungimii de convertire şi supralărgire (l_{cs}) şi a lungimii de supraînălţare pentru racordări cu clotoide cap la cap (l_s), funcţie de viteza de proiectare.

Tabelul 7.1.

Caracteristica	Viteza de proiectare, în km/h						
	100	80	60	50	40	30	25
Lungimea de convertire (l_{cs}), în m	50	45	40	30	25	20	15
Lungimea de supraînălţare pentru clotoide cap la cap (l_s), în m	120* / 95	115* / 95	95* / 75	55	45	35	30

* pentru clasa tehnică II.

Sectorul de drum de lungime $l_{cs}+l_s$ formează rampa de racordare. Realizarea rampei de racordare se poate efectua în mai multe feluri (fig. 7.7, curba este la stânga):

- cu menţinerea nemodificată a cotei marginii interioare (I) a părţii carosabile (fig. 7.7.a). Convertirea se produce prin rotirea jumătăţii exterioare a părţii carosabile în jurul axei drumului (punctul M) până la obţinerea deverului pozitiv **p**. În continuare supraînălţarea (deverul pozitiv **i**) se obţine prin rotirea întregii părţi carosabile în jurul punctului I;

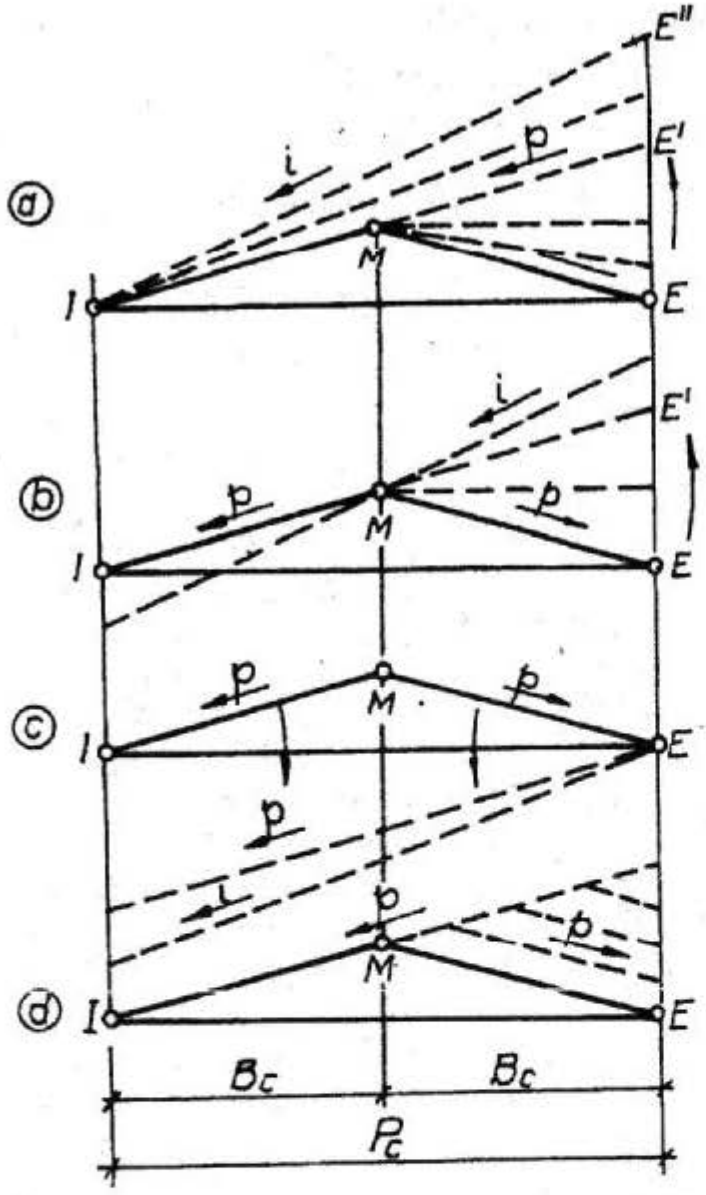


Fig. 7.7. Tipuri de realizare a rampei racordării.

- cu menţinerea nemodificată a cotei axei drumului (fig. 7.7.b).

Convertirea se face ca şi în cazul precedent, urmând ca supraînălţarea să se efectueze prin rotirea întregii părţi carosabile în jurul axei drumului (punctul M);

- cu menţinerea nemodificată a marginii exterioare (E) a părţii carosabile (fig. 7.7.c).

Corespunzător acestei soluţii ambele benzi de circulaţie (B_c) se rotesc în sens invers în jurul punctelor I şi E până la obţinerea profilului orizontal, apoi întregul profil astfel obţinut se roteşte în jurul punctului E până la obţinerea profilului convertit şi, în continuare, până când se obţine profilul cu panta i (supraînălţat);

- convertirea se face prin menţinerea pantei transversale a celor două benzi de circulaţie, dar muchia intersecţiei dintre cele două feţe se deplasează treptat din axa drumului până la marginea exterioară a părţii carosabile (fig. 7.7.d).

Normativele în vigoare în ţara noastră prevăd aplicarea metodei prezentate în fig. 7.7.b, caz în care cotele liniei roşii din profil longitudinal nu se schimbă pe lungimea curbei amenajate.

În cazul curbelor cu supralărgire, lăţimea totală pe care se face amenajarea în spaţiu include şi supralărgirea părţii carosabile.

De asemenea, normativele româneşti includ benzile de încadrare (B_i) în lăţimea pe care se face amenajarea în spaţiu, caz în care lăţimea reală pentru amenajare este $\mathbf{P_c+2B_i}$, egală cu lăţimea îmbrăcămintei rutiere. Panta transversală a supralărgirii părţii carosabile şi cea a benzilor de încadrare va fi identică cu a benzii de circulaţie alăturate.

7.3.2. Rampa supraînălțării la căi ferate

Amenajarea în spațiu a curbelor de cale ferată se poate realiza în următoarele feluri (fig. 7.8):

- prin ridicarea numai a firului exterior (fig. 7.8.a);
- prin ridicarea firului exterior și coborârea firului interior până la obținerea diferenței de nivel **h** între acestea (fig. 7.8.b);
- prin coborârea firului interior astfel încât firul exterior să beneficieze de supraînălțarea **h** (fig. 7.8.c).

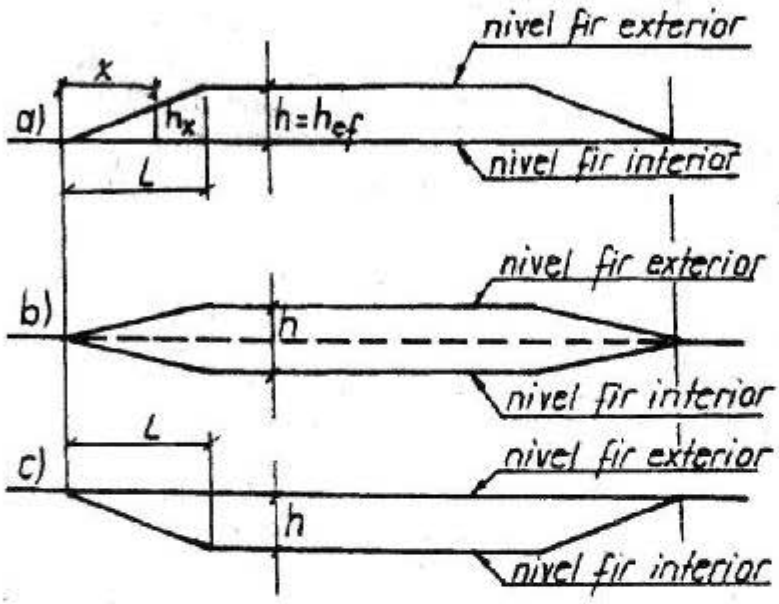


Fig. 7.8. Realizarea rampei supraînălțării la căi ferate.

Cazurile prezentate în fig. 7.8.b și 7.8.c sunt mai greu de realizat datorită dificultăților prilejuite de coborârea firului interior și de diminuarea inadmisibilă a prismei căii, motiv pentru care practic se aplică soluția prezentată în fig. 7.8.a.

Pentru **curbele arc de cerc și curbe progresive**, rampa supraînălțării se suprapune peste lungimea curbei progresive (L), variația supraînălțării fiind similară cu variația curburii (liniară sau în S). În vederea evitării unor acțiuni dinamice nefavorabile între vehicul și cale, în fiecare punct al racordării, produsul dintre supraînălțare $\mathbf{h_x}$ și raza de curbură $\mathbf{R_x}$ trebuie să fie constant (fig. 7.9) și să respecte condiția următoare:

$$h_x \cdot R_x = h \cdot R = constant \qquad (7.40)$$

Stabilirea lungimii curbelor de racordare, deci a rampei supraînălțării (L) se face prin respectarea simultană a următoarelor două condiții:

- panta nominală a supraînălțării (p) sau torsionarea căii pe racordare (i), definită în cadrul racordării cu parabolă cubică prin raportul dintre supraînălțarea **h** din curba circulară și lungimea curbei progresive **L**, trebuie să fie de cel mult:

$$i = \frac{h}{L} \le \frac{1}{n \cdot V} \quad [mm/mm] \qquad (7.41)$$

$$p = \frac{h}{L} \le \frac{1000}{n \cdot V} \quad [mm/m] \qquad (7.42)$$

fiind cu atât mai mică cu cât viteza V este mai mare şi are valoarea maximă i = 1/500 sau p = 2 mm/m, pentru viteze V ≤ 80 km/h.

Coeficientul n are valorile: n = 6 pentru viteze de 80...100 km/h, n = 8 pentru viteze de 100...120 km/h şi n = 10 pentru V > 120 km/h;

- variaţia insuficienţei de suprainălţare sau smucirea imprimată vehiculelor pe parcursul curbei progresive, care la parabola cubică se defineşte prin raportul dintre insuficienţa de suprainălţare (I) şi lungimea curbei progresive (L), trebuie să fie:

• pentru curbe progresive cu lungimi normale:

$$\frac{I}{L} \le \frac{140}{V} \qquad [mm/m] \qquad (7.43)$$

• pentru curbe progresive cu lungimi minime:

$$\frac{I}{L} \le \frac{210}{V} \qquad [mm/m] \qquad (7.44)$$

Practic, determinarea lungimii curbelor de racordare se face în mod diferit în funcţie de numărul de curbe de pe sectorul de linie analizat, pe baza datelor precizate tabelar de reglementările în vigoare, astfel:

- pentru sectoare de linie cu o singură curbă, se alege lungimea nominală a curbei progresive, dată în norme funcţie de raza curbei şi de viteza maximă de circulaţie (de exemplu, pentru R = 550 m şi V = 80 km/h, rezultă din tabele L = 40 m). În mod excepţional se poate alege din norme lungimea minimă a curbei progresive. Modul de variaţie a suprainălţării (h) şi a săgeţii (f) este redat în fig. 7.9;

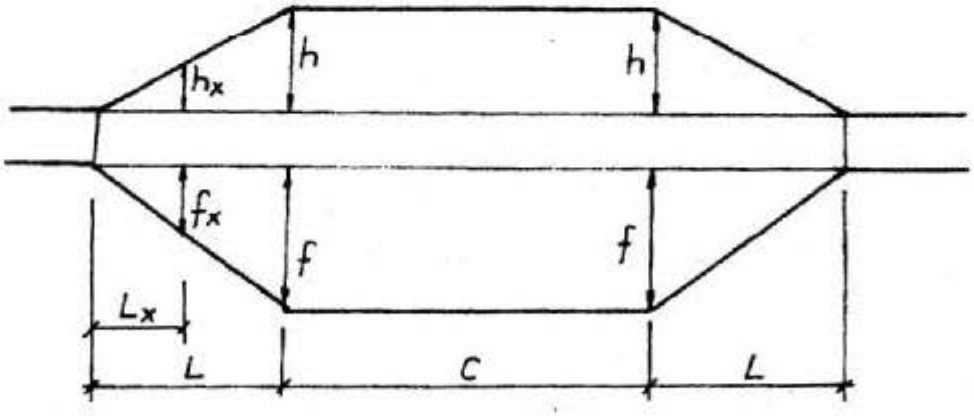


Fig. 7.9. Introducerea suprainălţării într-o curbă izolată formată din arc de cerc central şi curbe progresive parabolice.

- într-o grupare de curbe pe acelaşi sector de linie, se determină lungimea nominală a curbei progresive cu raza cea mai mică, după metodologia folosită la curbe izolate. Pentru celelalte curbe din gruparea respectivă, lungimea curbei progresive se determină cu relaţia următoare:

$$L_i = L \cdot \frac{R}{R_i} \qquad [m] \qquad (7.45)$$

în care:

L este lungimea nominală a curbei cu raza minimă de valoare **R**, în m.

O metodologie asemănătoare stă şi la baza determinării lungimii curbelor progresive pe un sector de linie cu mai multe curbe (curbe izolate sau grupări de curbe).

Variaţia supraînălţării (h) şi a săgeţii (f) în curbe circulare de acelaşi sens cu curbă progresivă între ele este prezentată în fig. 7.10, iar în curbe circulare de sens contrar cu curbe progresive între ele în fig. 7.11.

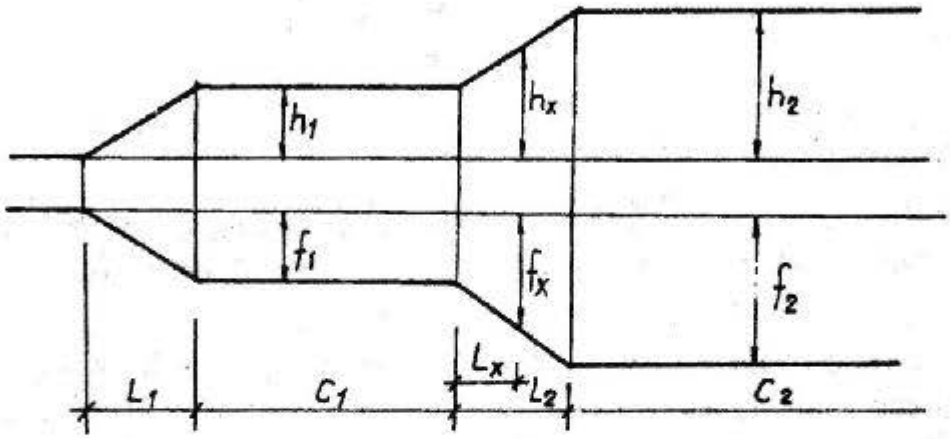


Fig. 7.10. Introducerea supraînălţării în curbe circulare de acelaşi sens cu curbă progresivă între ele.

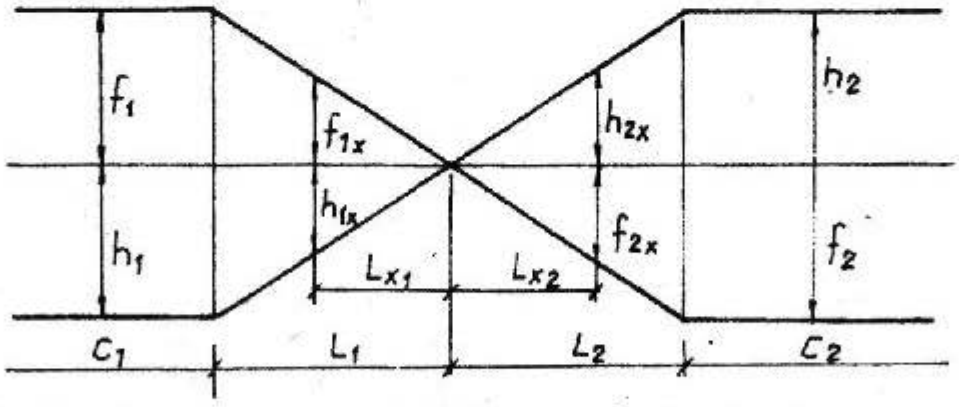


Fig. 7.11. Introducerea supraînălţării în curbe circulare de sens contrar cu curbe progresive între ele.

Calculul supraînălţărilor $\mathbf{h_x}$ şi ale săgeţilor $\mathbf{f_x}$ de pe curbele progresive se face pe baza condiţiei de respectare a proporţionalităţii cu lungimea L_x a curbei progresive.

Pentru **curbele cu arc de cerc**, rampa supraînălţării, în cazurile în care este necesară, se realizează în aliniament pe lungimi care rezultă din calcule.

8. AMENAJAREA ÎN PLAN ŞI SPAŢIU A CURBELOR DE DRUMURI

Amenajarea curbelor în plan şi spaţiu are ca scop asigurarea circulaţiei în deplină siguranţă şi confort, prin manevrări line şi continue ale mecanismelor autovehiculului şi cu limitarea cât mai mult posibil a forţelor suplimentare care acţionează asupra vehiculului în curbă.

Amenajarea în plan implică introducerea curbelor de racordare adecvate între aliniamentele consecutive, cu lungimi care să asigure siguranţa şi confortul circulaţiei, şi supralărgirea părţii carosabile în curbă pentru asigurarea circulaţiei tuturor vehiculelor cu lungime normală admise în circulaţie. În conformitate cu normativele româneşti în vigoare, supralărgirea (S) rezultă prin însumarea supralărgirilor necesare pentru fiecare bandă de circulaţie.

Supralărgirea unei benzi de circulaţie (e) rezultă funcţie de raza racordării (R) şi de categoria drumului, conform tabelului 8.1, indiferent de viteza de proiectare a sectorului respectiv.

Tabelul 8.1.

Categoria drumului	Supralărgirea unei benzi de circulaţie (e, în cm) pentru curbe cu raza (R, în m) de:											
	20	22	25	30	35	40	50	70	100	115	150	225
Drumuri internaţionale	310	275	240	200	170	150	120	60	40	35	30	25
Celelalte drumuri	200	185	160	135	115	100	80	60	40	35	30	25

Supralărgirea părţii carosabile se proiectează în întregime în interiorul curbei, introducându-se liniar, proporţional cu distanţa, pe lungimea de convertire şi supralărgire (l_{cs}) şi păstrându-se constantă pe toată lungimea racordării.

În cazuri excepționale, când condițiile locale impun acest lucru, supralărgirea părții carosabile se poate introduce simetric față de axa drumului. Calculul supralărgirii necesare (S) pentru o anumită curbă se face astfel:

$$S = \sum_{i=1}^{n} e_i \qquad [cm] \qquad (8.1)$$

în care:

e este supralărgirea necesară pentru o bandă de circulație, în cm;

n - numărul de benzi de circulație ale drumului în curba considerată.

Amenajarea curbelor în spațiu constă în proiectarea rampei de racordare, în conformitate cu principiile enunțate la pct. 7.3.1. Se reamintește că pentru proiectarea rampei de racordare, în lățimea părții carosabile (P_c) sunt incluse și lățimile celor două benzi de încadrare (B_i) și lățimea supralărgirii necesare (S), care au tot timpul aceeași pantă transversală cu benzile de circulație alăturate.

Amenajarea curbelor în plan și spațiu se efectuează în mod diferit pentru curbele izolate față de curbele succesive, care pot fi, la rândul lor, de același sens sau de sens contrar.

Două curbe caracterizate prin indicii **1** și **2** se consideră **izolate**, dacă distanța dintre tangentele lor teoretice (T_{i1} și T_{e2}) este mai mare decât lungimea dată de suma $x'_1+l_{cs1}+l_{cs2}+x'_2$, respectiv **succesive**, dacă distanța dintre ele este mai mică decât lungimea menționată anterior. Dacă cele două curbe sunt arce de cerc, atunci bineînțeles $x'_1 = x'_2 = 0$.

8.1. Amenajarea curbelor izolate

Funcție de raza și tipul racordării, la amenajarea curbelor izolate se disting următoarele cazuri:

- dacă raza racordării este cel puțin egală cu raza racomandabilă ($R \geq R_r$), se acceptă circulația pe deverul negativ și curba nu are rampă de racordare;

- dacă raza racordării este mai mică decât raza recomandabilă dar mai mare decât raza curentă ($R_c \leq R < R_r$) profilul transversal pe lungimea curbei va fi convertit (dever pozitiv cu panta p (în %) din aliniament), racordarea fiind rezolvată cu arc de cerc (fig. 8.1);

- dacă raza racordării este mai mică decât raza curentă, dar mai mare decât raza minimă ($R_m \leq R < R_c$), pe lungimea racordării deverul este pozitiv cu pante mai mari decât panta din aliniament (p) și cel mult egale cu 7 % (supraînălțarea maximă). Funcție de tipul racordării, introducerea deverului pozitiv se realizează astfel:

• pentru racordări cu clotoide și arc de cerc central, profilul convertit de la intrarea în curbă se rotește în continuare în jurul axei pe lungimea

arcelor de clotoidă, ajungând la intrarea în arcul de cerc central la panta i (profilul supraînălțat), (fig. 8.2). Pe întreaga lungime a arcului de cerc profilul transversal va avea panta i;

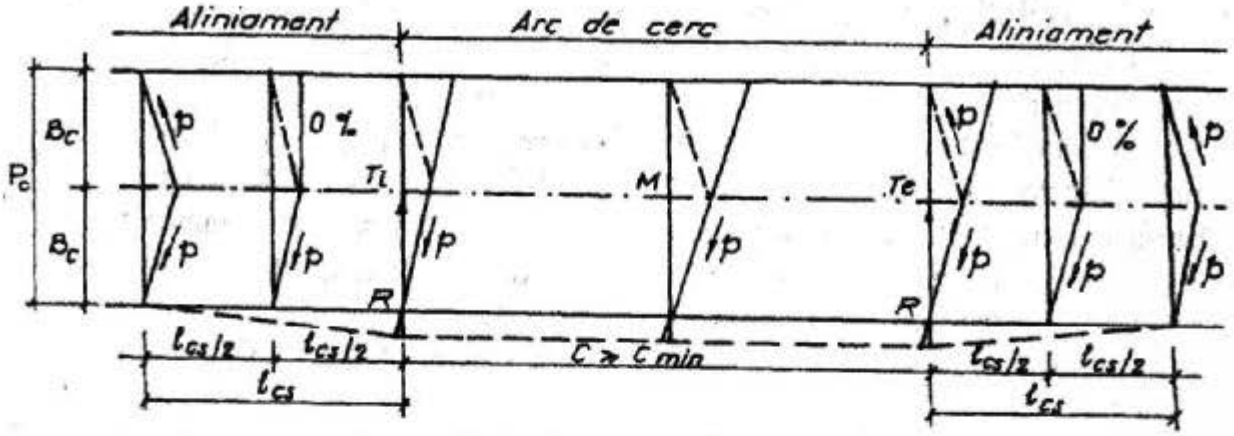


Fig. 8.1. Amenajarea curbelor izolate arc de cerc cu raza $R_c \leq R < R_r$).

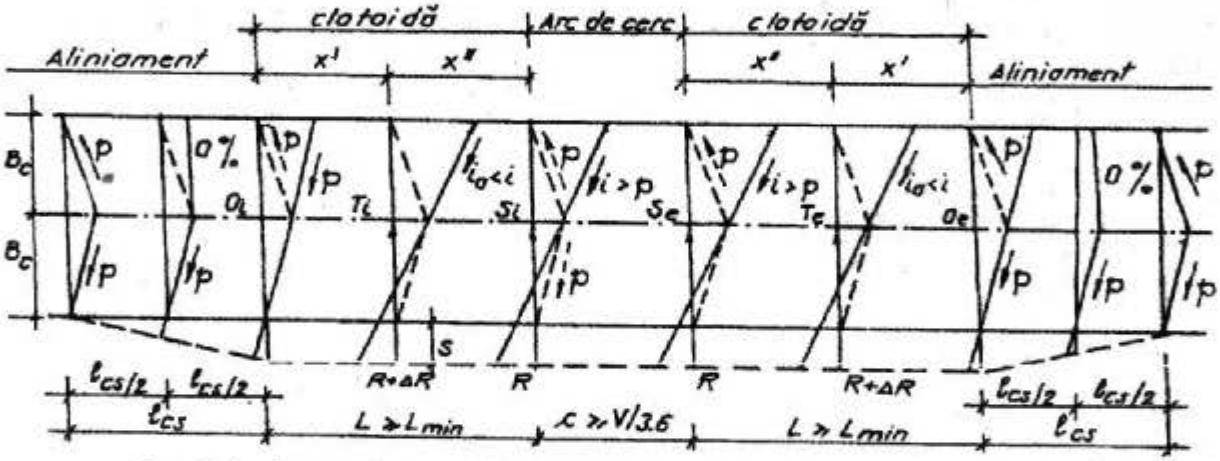


Fig. 8.2. Amenajarea curbelor izolate cu arce de clotoidă simetrice şi arc de cerc central ($R_m \leq R < R_c$).

• pentru racordări cu clotoide cap la cap, profilul convertit de la intrarea în curbă se roteşte în continuare în jurul axei, pe lungimea l_s, ajungând la deverul profilului supraînălțat i, care se menține constant pe lungimea centrală egală cu $2(L-l_s)$, (fig. 8.3). Lungimea centrală $2(L-l_s)$ trebuie să fie cel puțin egală cu spațiul parcurs de vehicul într-o secundă, adică **V/3,6**.

Acostamentul din exteriorul curbei urmează pantele îmbrăcămintei şi se roteşte o dată cu aceasta, în timp ce acostamentul din interiorul curbei, având panta $p_a > i$ îşi menține valoarea inițială până în punctul unde prin rotirea profilului transversal se obține $p_a = i$ (de ex. $p_a = 4$ %), din considerente de evacuare cât mai rapidă a apelor de suprafață în exteriorul platformei drumului. În continuare acostamentul interior se roteşte o dată cu îmbrăcămintea până la obținerea pantei de valoare i.

8.2. Amenajarea curbelor succesive

La amenajarea curbelor succesive principalele principii enunţate pentru amenajarea curbelor izolate se menţin şi anume:

- convertirea profilului transversal se efectuează pe lungimea l_{cs}, înainte de intrarea în curbă;

- supraînălţarea se efectuează pe lungimea clotoidelor dacă există arc de cerc central, respectiv pe lungimea l_s, dacă racordarea este rezolvată cu clotoide cap la cap, păstrându-se constantă pe lungimea arcului de cerc central, respectiv pe lungimea $2(L-l_s)$;

- supralărgirea se introduce în interiorul curbei, pe lungimea l_{cs} şi se păstrează constantă pe întreaga lungime a racordării.

Principiile de amenajare specifice curbelor succesive sunt legate de modul de

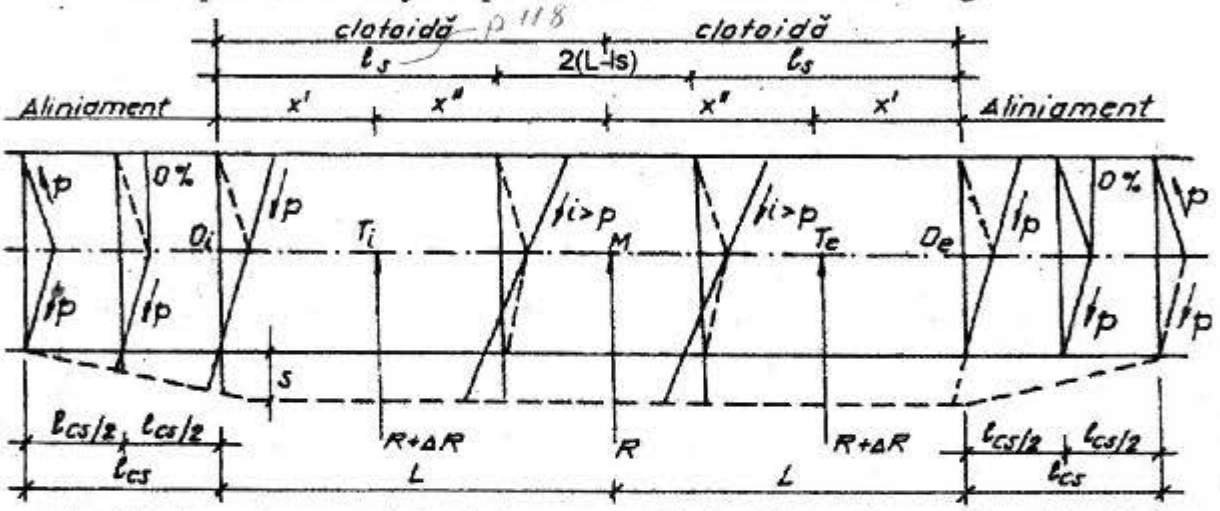


Fig. 8.3. Amenajarea curbelor izolate cu arce de clotoidă cap la cap ($R_m \leq R < R_c$).

rezolvare a sectorului de drum cuprins între cele două curbe (sector în care se includ, acolo unde există, lungimile celor două clotoide alăturate aliniamentului intermediar).

În aceste condiţii vor fi prezentate în continuare principalele situaţii care pot să apară pentru amenajarea curbelor succesive.

a. Ambele curbe au raza cel puţin egală cu raza recomandabilă ($R \geq R_r$), deci amenajarea lor în spaţiu nu este necesară. În consecinţă, profilul transversal pe lungimea lor este identic cu cel din aliniament, iar pe lungimea acestor curbe se poate amplasa total sau parţial lungimea l_{cs} necesară amenajării altei curbe. În concluzie, dacă una dintre două curbe succesive care se amenajează are raza $R \geq R_r$, atunci a doua curbă se poate amenaja ca o curbă izolată.

b. În cazul a două curbe succesive, **ambele cu raza cuprinsă între raza curentă şi raza recomandabilă ($R_c \leq R < R_r$)**, deci arce de cerc care necesită convertirea profilului transversal, se disting următoarele situaţii:

- dacă racordările sunt de acelaşi sens, profilul convertit de la ieşirea din prima curbă (T_{e1}) se menţine pe aliniamentul intermediar până la intrarea în a doua curbă (T_{i2}),

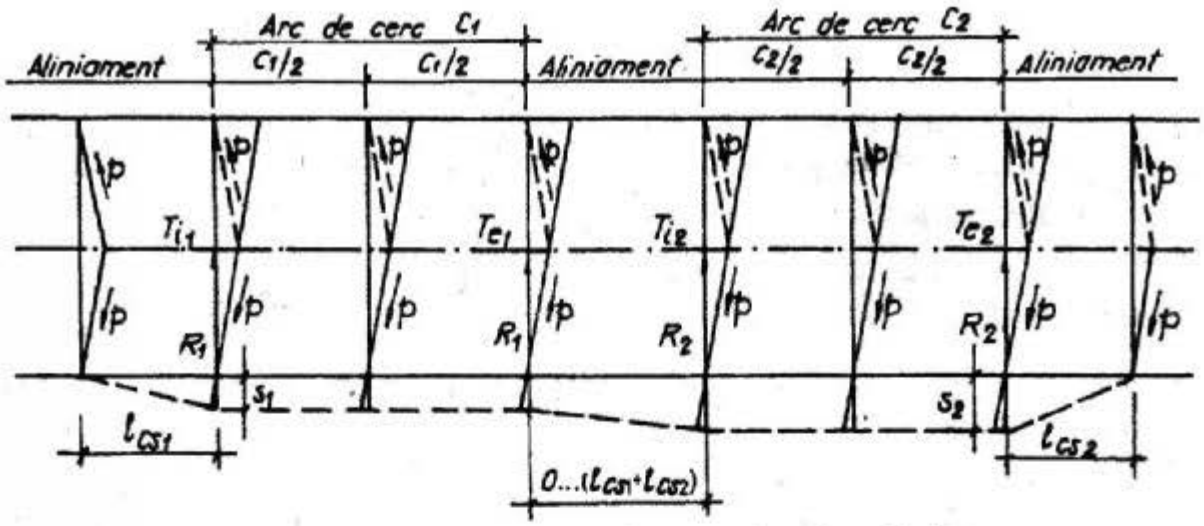


Fig. 8.4. Amenajarea a două curbe succesive de acelaşi sens, ambele cu raza $R_c \leq R < R_r$.

iar supralărgirea S_1 necesară pentru prima curbă se racordează liniar pe lungimea aliniamentului intermediar cu supralărgirea S_2 necesară pentru a doua curbă (fig. 8.4);

- dacă racordările sunt de sens contrar, profilul convertit de la ieşirea din prima curbă (T_{e1}) se roteşte în jurul axei, proporţional cu lungimea aliniamentului intermediar, astfel încât la intrarea în a doua curbă (T_{i2}) profilul să fie convertit dar în sens contrar. În aceste condiţii, profilul transversal trece printr-un profil de pantă zero, situat la mijlocul aliniamentului intermediar. Pe lungimea aliniamentului supralărgirea S_1 se va reduce proporţional cu lungimea l_{cs1} până la valoarea $S_1 = 0$, iar supralărgirea necesară celeilalte curbe se va introduce liniar pe lungimea l_{cs2}, înainte de intrarea în curbă (fig. 8.5).

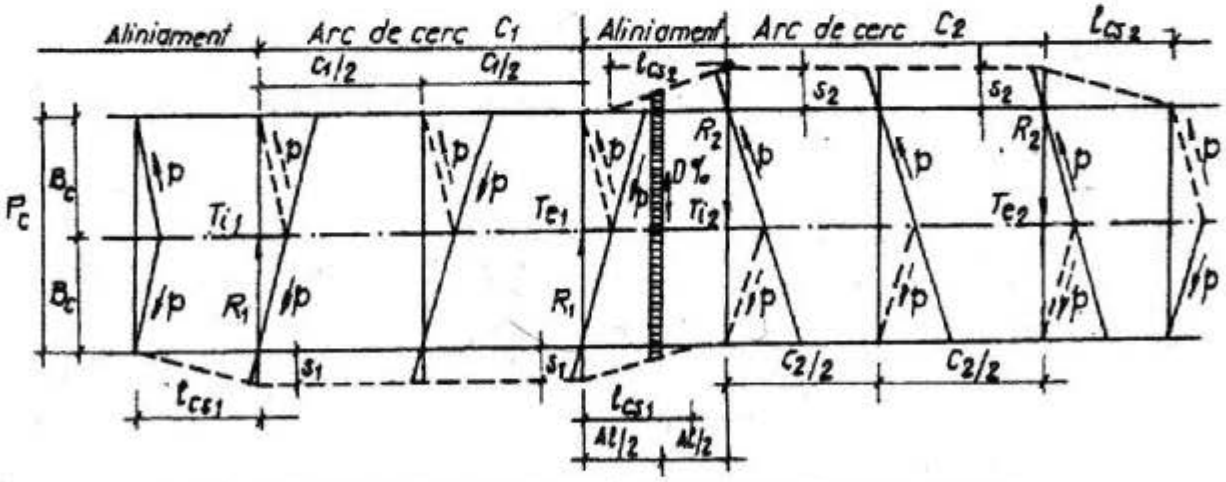


Fig. 8.5. Amenajarea a două curbe succesive de sens contrar, ambele cu raza $R_c \leq R < R_r$.

c. Pentru două curbe succesive, **prima cu raza $R_m \leq R < R_c$ şi a doua cu raza $R_c \leq R < R_r$**, deci prima necesitând supraînălţarea şi a doua convertirea profilului transversal, se disting două cazuri:

- dacă racordările sunt de acelaşi sens, atunci profilul se menţine convertit între ieşirea din prima curbă (O_{e1}) şi tangenta de intrare a celeilalte curbe (T_{i2}). Supralărgirea S_1 se racordează liniar cu supralărgirea S_2, pe lungimea aliniamentului (fig. 8.6);

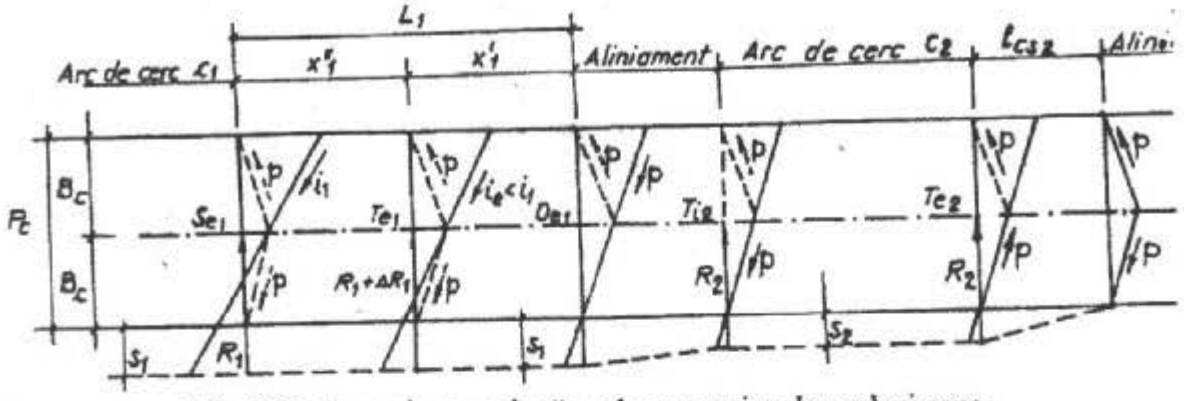


Fig. 8.6. Amenajarea a două curbe succesive de acelaşi sens, prima cu raza $R_m \leq R < R_c$ iar a doua cu raza $R_c \leq R < R_r$.

- dacă racordările sunt de sens contrar, profilul supraînălţat de la sfârşitul arcului de cerc central al primei curbe (S_{e1}) se roteşte în jurul axei, proporţional cu distanţa, până la profilul convertit, de sens contrar, din tangenta de intrare a celeilalte curbe (T_{i2}). Profilul transversal cu dever nul trebuie să se situeze obligatoriu pe lungimea aliniamentului intermediar (fig. 8.7). Dacă profilul de pantă zero cade pe lungimea clotoidei, atunci se renunţă la proporţionalitatea dintre rotire şi distanţă şi profilul respectiv se amplasează la ieşirea din prima curbă (O_{e1}).

d. În cazul în care **curbele au raza** $R_m \leq R < R_c$, deci ambele necesită supraînălţarea profilului transversal, se analizează următoarele două situaţii:

- dacă racordările sunt de acelaşi sens, atunci se procedează la rotirea profilului transversal, în jurul axei, proporţional cu distanţa, astfel încât deverul i_1 de la ieşirea din primul arc de cerc central (S_{e1}) ajunge la valoarea i_2, de acelaşi sens, la intrarea în al doilea arc de cerc central (S_{i2}), (fig. 8.8);

- între curbele arc de cerc centrale, de sensuri contrare, profilul cu deverul i_1 din pichetul S_{e1} se roteşte în raport cu axa drumului, proporţional cu distanţa, schimbându-şi sensul, până ajunge la valoarea i_2 la intrarea în al doilea arc de cerc (S_{i2}). Profilul trece printr-un profil orizontal (dever nul) care trebuie să fie situat între originile clotoidelor celor două curbe.

Dacă profilul se găseşte pe una dintre clotoide, el se va muta în originea acesteia, renunţându-se la rotirea proporţională a profilului cu distanţa (fig. 8.9).

În cazul în care curbele supraînălţate sunt formate din două arce de clotoidă, fără arc de cerc central, toate rotirile profilului transversal se efectuează pe lungimea l_s, şi nu pe lungimea clotoidei L, astfel încât pe lungimea centrală $2(L-l_s)$ a fiecărei curbe să se menţină profilul supraînălţat cu panta necesară curbei respective.

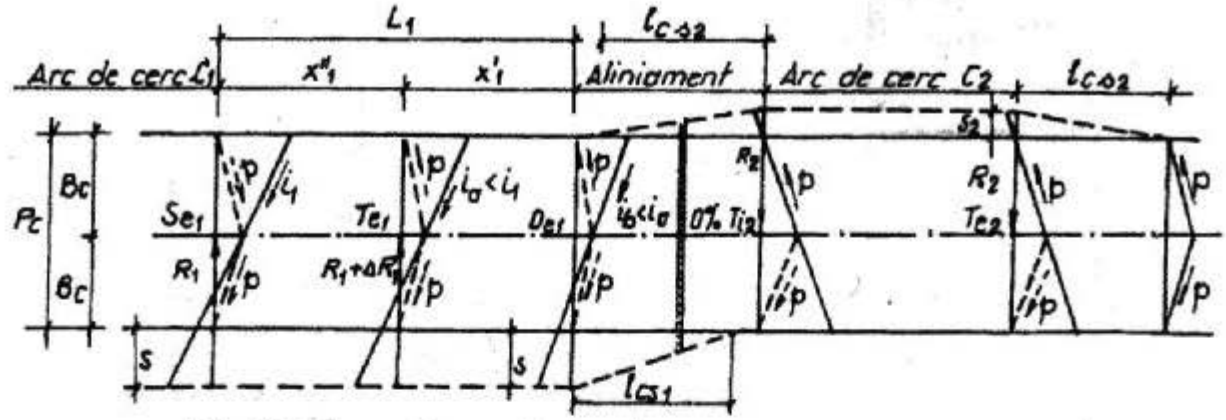


Fig. 8.7. Amenajarea a două curbe succesive de sens contrar, prima cu raza $R_m \leq R < R_c$ iar a doua cu raza $R_c \leq R < R_r$.

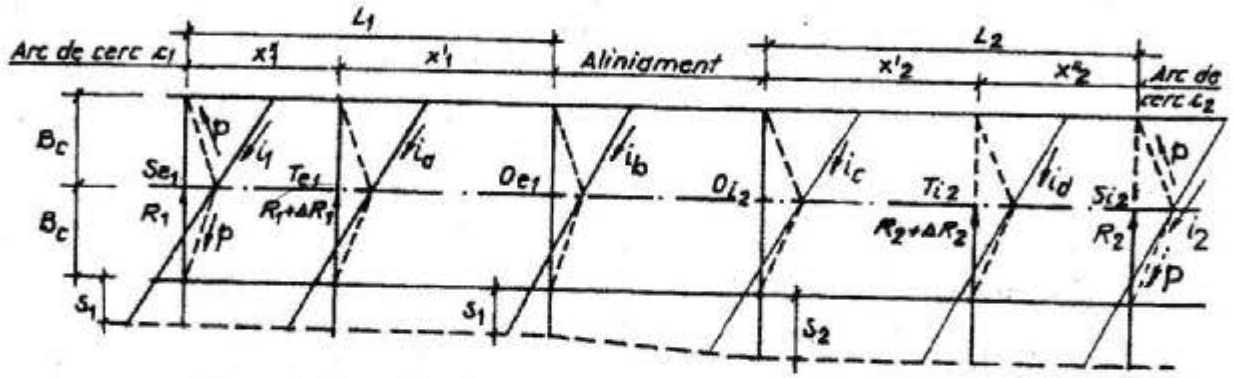


Fig. 8.8. Amenajarea a două curbe succesive de același sens, ambele cu raza $R_m \leq R < R_c$.

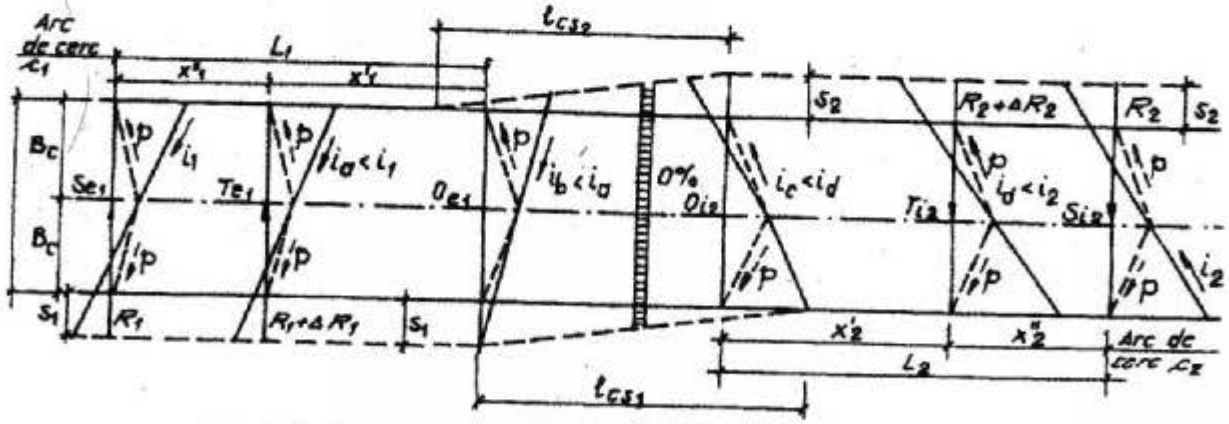


Fig. 8.9. Amenajarea a două curbe succesive de sens contrar, ambele cu raza $R_m \leq R < R_c$.

În fig. 8.10 se prezintă un exemplu pentru rezolvarea amenajării în plan și spațiu a două curbe succesive de sens contrar, ambele cu raza $R_m \leq R < R_c$.

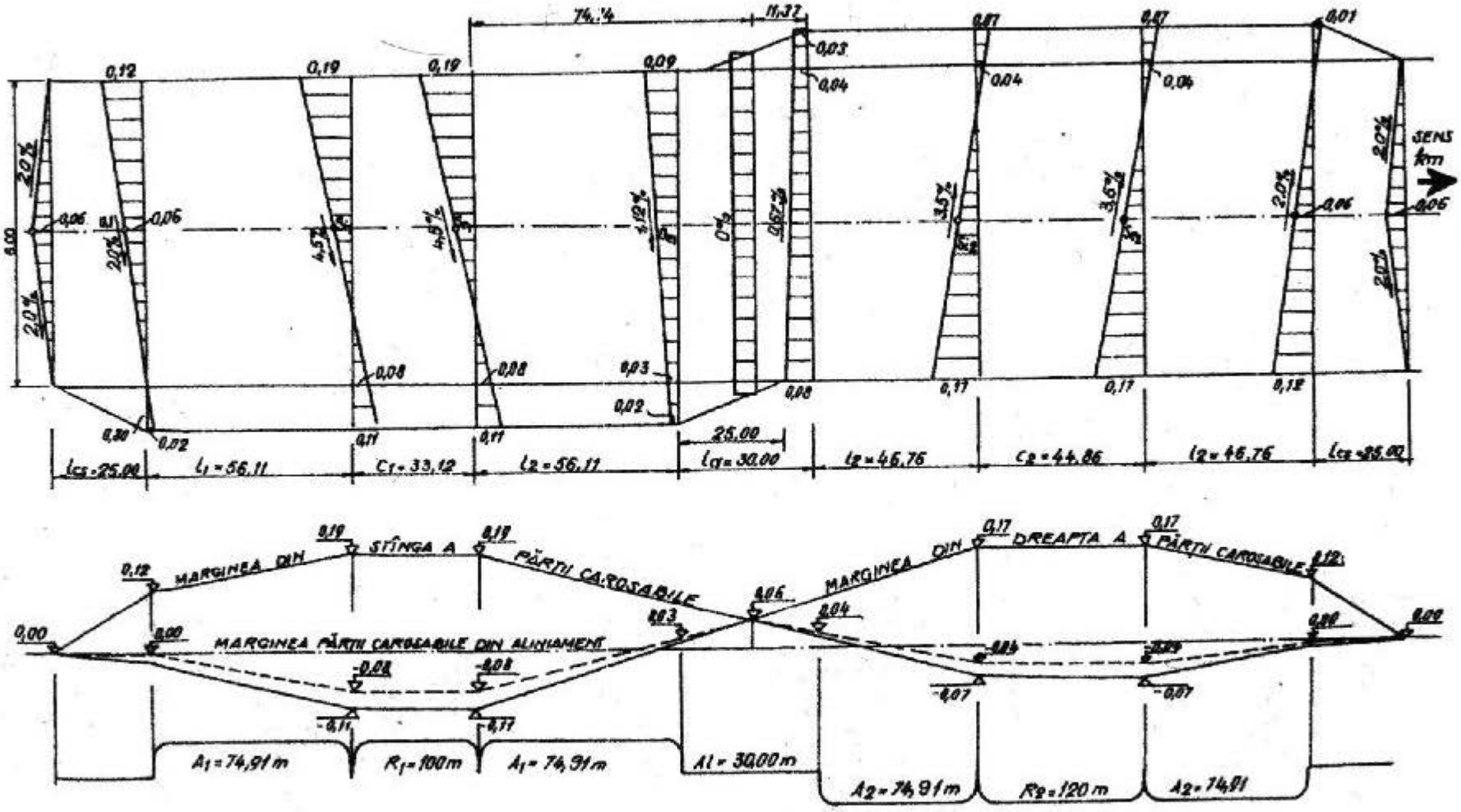


Fig. 8.10 Amenajarea în plan și în spațiu a două curbe succesive de sens contrar.

9. VIZIBILITATEA ÎN PLAN

Asigurarea vizibilității în plan este mai importantă la drumuri, decât la calea ferată, deoarece circulația autovehiculelor în condiții de siguranță și confort depinde în mod semnificativ de condițiile de vizibilitate. O vizibilitate corespunzătoare asigurată permanent permite efectuarea manevrelor de conducere în condiții sigure pentru evitarea unor obstacole fixe sau mobile, respectiv pentru efectuarea depășirilor necesare desfășurării fluente a traficului.

Distanțele de vizibilitate proiectate sau impuse pentru un anumit sector de drum trebuie corelate cu viteza de proiectare. Astfel, dacă asigurarea distanței de vizibilitate necesare în anumite situații nu este posibilă din considerente tehnico-economice, se limitează viteza de circulație la nivelul distanței de vizibilitate efective și sectorul de drum respectiv se semnalizează corespunzător (prin restricții de viteză).

Pentru calculul distanței de vizibilitate se consideră în principal următoarele ipoteze:

- înălțimea la care se situează ochiul utilizatorului deasupra părții carosabile: 1,00...1,40 m;
- înălțimea obstacolului fix este 0,15 m, iar în cazul particular al unor defecțiuni în îmbrăcămintea rutieră: h = 0,00 m;
- înălțimea unui autoturism este 1,20 m.

În plan, poziția ochiului utilizatorului și obstacolul se consideră că se situează în axa benzii de circulație, sau, după unele reglementări, la 2,00 m de marginea din dreapta a benzii de circulație (deci circulația se efectuează în axa benzii de circulație).

Pentru calculul distanțelor de vizibilitate se iau în considerare ipotezele drumului în aliniament, respectiv ipotezele corespunzătoare drumului în curbă.

9.1. Vizibilitatea în aliniament

Evitarea de către utilizator a obstacolelor (fixe sau mobile) de pe banda sa de circulație se asigură prin oprirea vehiculului în fața acestora, respectiv prin ocolirea sau depășirea lor în condiții de siguranță.

9.1.1. Distanța de vizibilitate pentru frânarea vehiculului

Modul cel mai frecvent de determinare a distanței de vizibilitate se bazează pe ipoteza **opririi vehiculului în fața obstacolului**. Obstacolul poate fi un vehicul staționar, o defecțiune în îmbrăcăminte etc. sau un alt vehicul care a oprit la rândul său prin frânare. Pentru un obstacol fix, distanță de vizibilitate se compune din:

- distanța s_1 parcursă de vehicul, cu viteza inițială, în așa-numitul **timp de percepție-reacție**. Timpul de percepție-reacție este timpul care se scurge din momentul în care utilizatorul a sesizat obstacolul și până în momentul în care acesta a acționat frânele (vehiculul începe să circule frânat). Timpul de percepție-reacție depinde la rândul său de o serie de factori:

  • posibilitatea de vedere a conducătorului: câmpul vizual (în medie 10^0 pentru poziția fixă a capului), viteza unghiulară de observație (sunt necesare cca 2 " pentru a explora 180^0), acomodare, orbire etc.;

  • sensibilitatea la accelerații (tangențiale sau normale față de direcția de mers);

  • oboseală, lipsă de atenție, nerăbdare, alcoolemie etc.

În general, timpul de percepție-reacție se consideră de 0,75...1,50 s, după cum atenția utilizatorului este mai concentrată (corespunzătoare cazului când obstacolul este așteptat sau previzibil), sau mai difuză (când obstacolul este doar prevăzut). În calcule timpul de percepție-reacție se consideră t_0 = 1 s, deci spațiu parcurs de vehicul în acest timp va fi $s_1 = t_0 \cdot v = (t_0 \cdot V)/3,6 = V/3,6$.

În mod obișnuit timpul de percepție este mai mare decât timpul de reacție, iar pe timp de noapte suma lor este mai ridicată decât ziua;

- **distanța de frânare propriu-zisă** (s_2), adică distanța parcursă din momentul aplicării frânelor până la oprirea completă a vehiculului. Distanța de frânare (s_2) în palier, se obține prin egalarea energiei cinetice a vehiculului din momentul aplicării frânelor cu lucrul mecanic rezistent dat de forța de frecare, adică:

$$\frac{m \cdot v^2}{2} = G \cdot f \cdot s_2 \qquad (9.1)$$

de unde, dacă se ține cont de relațiile cunoscute: $v = V/3,6$ și $G = m \cdot g$, rezultă:

$$s_2 = \frac{G}{g} \cdot \frac{V^2}{2(3,6)^2 \cdot G \cdot f} = \frac{V^2}{254\,f} \qquad [m] \qquad (9.2)$$

în care:

m este masa vehiculului, în kg ($m = G/g$);

v - viteza vehiculului, în m/s;

V - viteza vehiculului, în km/h;

G - greutatea vehiculului (pentru simplificare, în calcule se consideră că greutatea osiilor frânate este egală cu greutatea vehiculului);

f - coeficientul de frecare prin frânare.

Coeficientul de frecare prin frânare depinde de starea pneurilor, rugozitatea şi starea îmbrăcămintei rutiere şi de viteza vehiculului.

Din relaţia 9.2 rezultă că distanţa de frânare propriu-zisă (s_2) nu depinde de greutatea vehiculului, ea fiind invers proporţională cu coeficientul de frecare şi direct proporţională cu pătratul vitezei. Aceeaşi relaţie poate fi amendată cu modificările date de **influenţa declivităţii**, astfel:

a. în rampă, la lucrul mecanic rezistent dat de forţa de frecare se adaugă şi componenta greutăţii **G** pe direcţia respectivă (fig. 9.1):

$$\frac{m \cdot v^2}{2} = G \cdot \cos\alpha \cdot f \cdot s_2 + G \cdot \sin\alpha \cdot s_2 \qquad (9.3)$$

dar pentru unghiuri mici $\sin \alpha \cong \operatorname{tg} \alpha \cong \alpha$ şi $\cos \alpha \cong 1$, iar spaţiul de frânare propriu-zis devine:

$$s_2 = \frac{G \cdot V^2}{g \cdot (3{,}6)^2} \cdot \frac{1}{G \cdot (f + d)} = \frac{V^2}{254 (f + d)} \qquad [m] \qquad (9.4)$$

în care:

d este declivitatea pe care o are rampa respectivă.

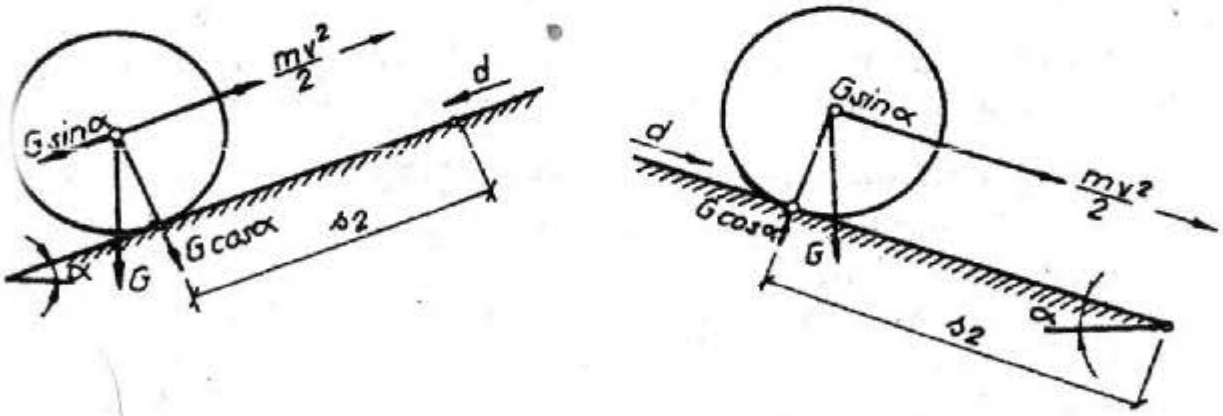


Fig. 9.1. Calculul spaţiului de frânare în rampă şi pantă.

b. în pantă, componenta $G \sin \alpha$ se adaugă la energia cinetică a vehiculului şi deci condiţia de echilibru devine:

$$\frac{m \cdot v^2}{2} + G \cdot \sin\alpha \cdot s_2 = G \cdot \cos\alpha \cdot f \cdot s_2 \qquad (9.5)$$

sau pentru unghiuri mici:

$$s_2 = \frac{V^2}{254 (f - d)} \qquad [m] \qquad (9.6)$$

În aceste condiții, relația generală a spațiului de frânare, funcție de configurația liniei roșii, este următoarea:

$$s_2 = \frac{V^2}{254(f \pm d)} \quad [m] \qquad (9.7)$$

- distanța de vizibilitate din condiția de frânare se completează și cu **un spațiu de siguranță** (s_3), care trebuie să rămână între vehiculul oprit și obstacol. Spațiul de siguranță considerat este $s_3 = 5...10$ m.

Rezultă că distanța de frânare este dată prin relația următoare:

$$D_f = s_1 + s_2 + s_3 = \frac{V}{3,6} + \frac{V^2}{254(f \pm d)} + (5...10) \quad [m] \qquad (9.8)$$

Dacă două vehicule se deplasează cu vitezele v_1 și v_2, pe aceeași bandă de circulație dar în sens contrar, evitarea coliziunii se obține prin oprirea ambelor vehicule în timp util. Distanța de vizibilitate necesară în această situație se calculează cu relația următoare în care V_1 și V_2 sunt date în km/h, iar f_1 și f_2 sunt specifici fiecărui vehicul:

$$D_f = \frac{V_1 + V_2}{3,6} + \frac{V_1^2}{254(f_1 \pm d)} + \frac{V_2^2}{254(f_2 \pm d)} + (5...10) \quad [m] \qquad (9.9)$$

În relațiile sus-menționate, ca și în cele care urmează, au fost neglijate rezistențele întâmpinate de vehicule în mișcare (caz favorabil siguranței).

9.1.2. Distanța de vizibilitate pentru ocolire

Evitarea unui obstacol prin ocolire se efectuează prin trecerea vehiculului pe banda de circulație alăturată (fig. 9.2).

Distanța de vizibilitate pentru efectuarea manevrei de ocolire se calculează cu relația următoare:

$$D_o = s_1 + s_4 \quad [m] \qquad (9.10)$$

în care:

s_4 este distanța, în proiecție orizontală, necesară pentru trecerea vehiculului de pe o bandă de circulație pe alta. Practic traiectoria descrisă de vehicul este o dusină formată din patru radioide (vezi fig. 6.8), care în calcule, pentru simplificare se asimilează cu două arce de cerc de rază **R**, tangente la aliniamentul intermediar în punctul P (fig. 9.2). Pornind de la aceste ipoteze, rezultă că spațiul s_4 este:

$$\frac{s_4}{2} = \sqrt{R^2 - \left(R - \frac{a}{2}\right)^2} \cong \sqrt{R \cdot a} \quad [m] \qquad (9.11)$$

deoarece termenul $a^2/4$ fiind foarte mic se poate neglija.

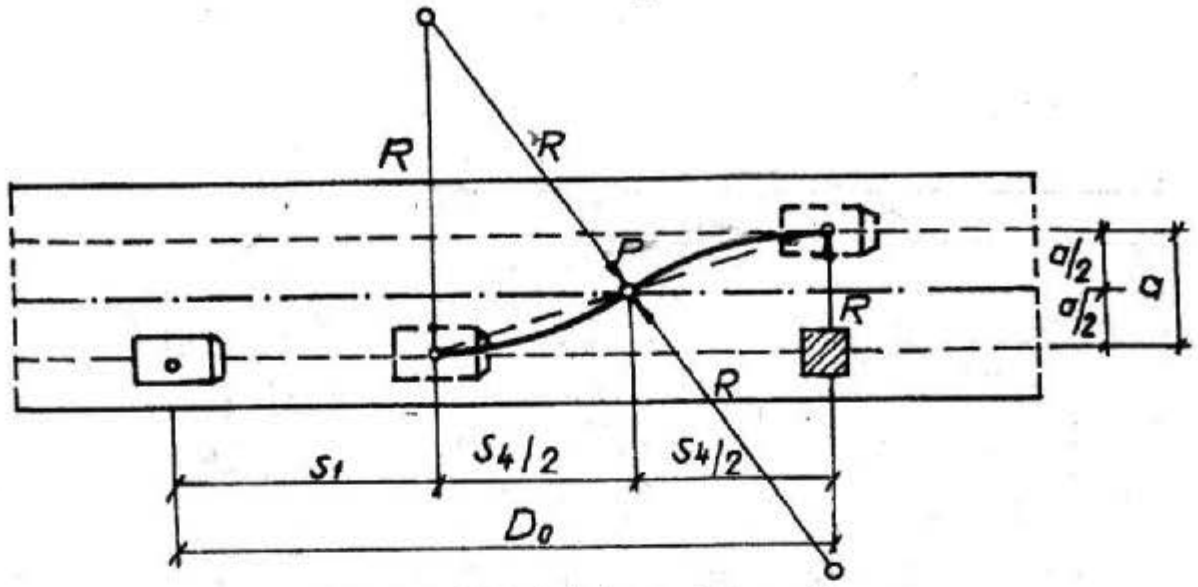


Fig. 9.2. Calculul distanței de ocolire.

Distanța de ocolire poate fi calculată astfel:

$$D_o = \frac{V}{3,6} + 2\sqrt{R \cdot a} \qquad [m] \qquad (9.12)$$

Pentru calculul razei **R** se admite o relație empirică potrivit căreia forța centrifugă care apare datorită ocolirii să fie de maximum 0,2 G ($F_c \leq G/5$). Rezultă că raza **R** trebuie să respecte inegalitatea:

$$R \geq \frac{5v^2}{g} \quad \text{sau la limită: } R \cong 0,5v^2 \qquad [m] \qquad (9.13)$$

În cazul în care, în locul obstacolului se găsește un vehicul care circulă neregulamentar (B în fig. 9.3) cu viteza **v'**, iar vehiculul care circulă regulamentar (A în fig. 9.3) frânează de la viteza inițială v_i până la viteza finală $v_f = 0$, distanța de ocolire necesară este dată de relația următoare:

$$D_o = s_1 + s_4 + s_4' + s_1' \qquad [m] \qquad (9.14)$$

în care:

s_1; s_2; s_4' și s_1' au semnificațiile menționate anterior.

În realitate, de regulă, pe de o parte, conducătorii celor două vehicule își sincronizează manevrele, iar pe de altă parte operația de ocolire se face într-un timp mai scurt decât oprirea prin frânare, motive pentru care se poate considera că vehiculul A frânează doar până la o viteză $v_f \neq 0$. Distanța de vizibilitate în acest caz se calculează astfel:

$$D_o = s_1 + s_5 + s_4' + s_1' \qquad [m] \qquad (9.15)$$

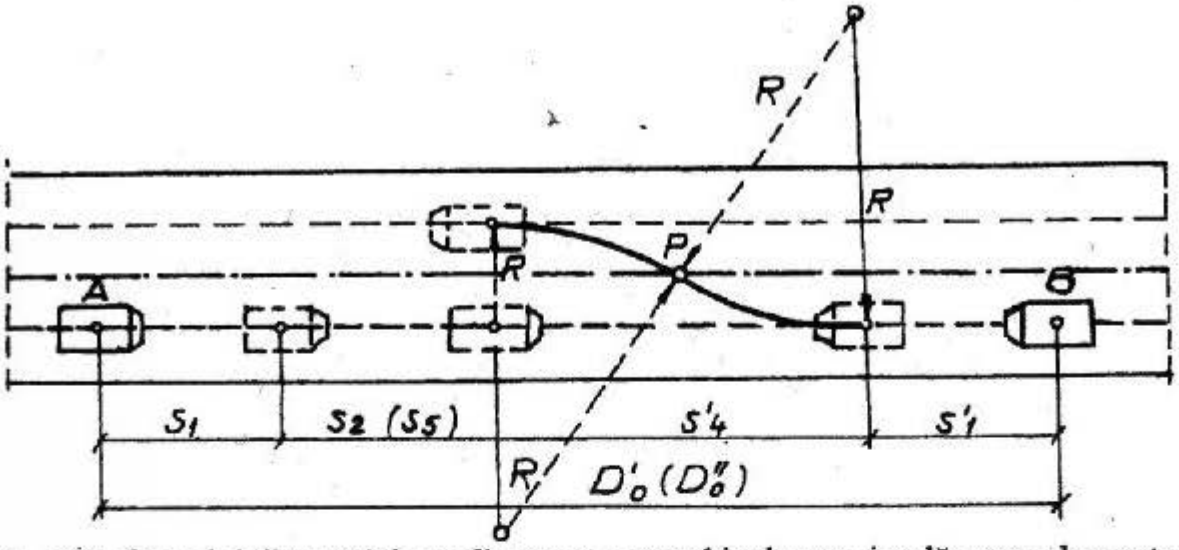


Fig. 9.3. Calculul distanței de ocolire pentru un vehicul care circulă neregulamentar.

Distanța s_5 reprezintă lungimea parcursă de vehiculul frânat pentru reducerea vitezei de la v_i la v_f. Această distanță se calculează în mod similar cu distanța s_2, prin egalarea lucrului mecanic produs de forța de frecare cu diferența energiilor cinetice pe care le posedă vehiculul în cele două momente. Considerând și influența declivității, relația de calcul pentru distanța s_5 are forma următoare:

$$s_5 = \frac{V_i - V_f}{2g(f \pm d)} = \frac{V_i^2 - V_f^2}{254(f_1 \pm d)} \quad [m] \qquad (9.16)$$

Parametrii **f** și **d** din relația 9.16 se referă la vehiculul A din fig. 9.3, care frânează pentru a evita coliziunea.

9.1.3. Distanța de vizibilitate pentru depășire

În cazul unui trafic eterogen depășirea unor vehicule (staționate sau care se deplasează în același sens cu viteze mai mici) este o necesitate. Dacă vehiculul A din fig 9.4 depășește un vehicul de lungime L staționat pe partea carosabilă, distanța de vizibilitate necesară se compune din:

- spațiul necesar deliberării (s_1);
- două distanțe necesare ocolirii (s_4), una la trecerea pe banda învecinată pentru a executa depășirea și a doua la revenirea pe banda normală de circulație;
- lungimea vehiculului staționat (L) la care se adaugă un spațiu de siguranță de 0,5 v, de o parte și de alta a obstacolului;
- eventual un spațiu de siguranță la sfârșitul depășirii, care se poate considera tot de valoarea s_1.

Rezultă că distanța de vizibilitate la depășire este dată prin relația:

$$D_d = 2s_1 + 2s_4 + v + L = 2s_1 + 4\sqrt{R \cdot a} + v + L \quad [m] \qquad (9.17)$$

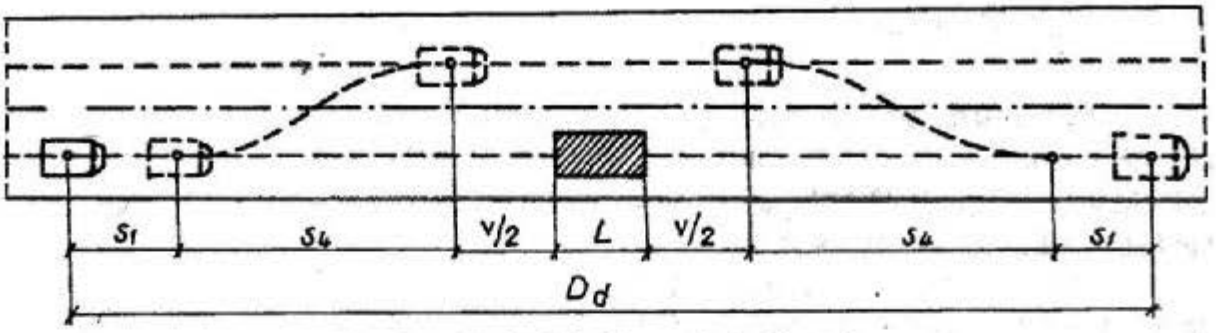


Fig. 9.4. Calculul distanței de depășire.

Dacă se consideră a = 3,00 m și R = 0,5 v^2 (conform relației 9.13), relația 9.17 se poate scrie astfel:

$$D_d = 3v + \sqrt{24v^2} + L \cong 8v + L\,2{,}2V + L \qquad [m] \qquad (9.18)$$

Dacă în locul obstacolului este un vehicul B care circulă în același sens cu viteza v_0 (fig. 9.5), distanța de vizibilitate crește față de cazul anterior, cu spațiul parcurs de vehiculul B în timpul efectuării manevrei de depășire de către vehiculul A. Deci calculul distanței de vizibilitate se face cu relația următoare:

$$D'_d = D_d + v_0 \cdot t \qquad [m] \qquad (9.19)$$

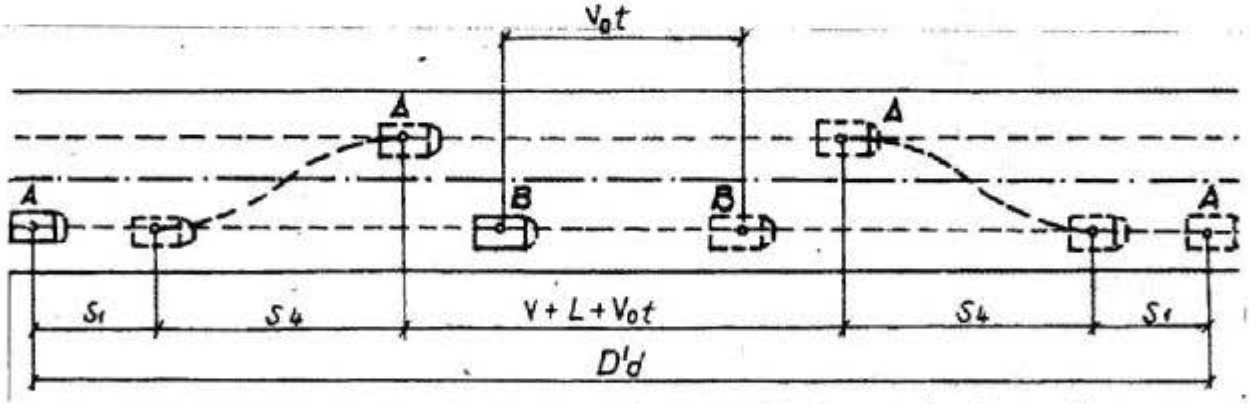


Fig. 9.5. Calculul distanței de depășire a unui vehicul care circulă cu viteza v_0.

Relația 9.19 poate fi scrisă, funcție de timpul necesar depășirii, astfel:

$$v \cdot t = D_d + v_0 \cdot t \qquad (9.20)$$

de unde:

$$t = \frac{D_d}{v - v_0} \qquad [s] \qquad (9.21)$$

iar relația distanței de vizibilitate devine:

$$D'_d = D_d + v_0 \cdot \frac{D_d}{v - v_0} = v \cdot \frac{D_d}{v - v_0} \quad [m] \qquad (9.22)$$

Se poate dezvolta şi mai mult acest caz pentru situaţia când din sens contrar circulă un alt vehicul C cu viteza v'. În aceste condiţii distanţa de vizibilitate calculată cu relaţia 9.22 trebuie mărită cu spaţiul parcurs de vehiculul C în timpul depăşirii, adică cu distanţa v' t.

Studii sistematice au condus la concluzia că în cazul vehiculelor care dispun de o rezervă de putere a motorului suficientă se poate conta pe o durată a manevrei de depăşire de 7...8 s, ceea ce conduce la o distanţă de vizibilitate minimă necesară egală cu lungimea parcursă de vehicul timp de 15 s, cu viteza de proiectare V, adică:

$$D = 15 \cdot \frac{V}{3,6} \cong 4V \quad [m] \qquad (9.23)$$

Relaţia 9.23 a fost folosită şi în normele româneşti pentru calculul distanţei de vizibilitate pentru depăşiri (tabelul 9.1).

Tabelul 9.1.

Distanţa de vizibilitate, în m	Viteza de proiectare, în km/h:						
	100	80	60	50	40	30	25
Curbele drumurilor cu două sau mai multe benzi de circulaţie alăturate	280	230	140	110	70	60	50
Curbele drumurilor cu două sau mai multe benzi de circulaţie separate prin insule	140	100	70	55	35	30	25
Asigurarea depăşirii	400	325	250	200	150	125	100

Pentru asigurarea capacităţii de circulaţie, traseul unui drum trebuie să conţină o anumită lungime totală pe care distanţa de vizibilitate la depăşire să fie realizată. Astfel, normele româneşti prevăd, funcţie de clasa tehnică a drumului, asigurarea distanţei de vizibilitate la depăşire în intervalul 50 % (pentru drumuri din clasa tehnică II) şi 25 % (pentru drumuri din clasa tehnică V).

9.2. Vizibilitatea în curbă

În curbe, raza vizuală fiind dirijată după coarde, este necesar să se elimine eventualele obstacole situate în interiorul curbei (taluzuri de debleu, construcţii, plantaţii, elemente de semnalizare etc.).

Distanţa de vizibilitate se consideră ca fiind egală cu una din distanţele determinate la punctul 9.1 sau cu distanţa de vizibilitate prevăzută de norme (tabelul 9.1).

Întrucât vizibilitatea trebuie asigurată pentru orice punct de pe curbă, vehiculele putând lua orice poziţie, se trasează razele de vizibilitate 1-1'; 2-2', ş.a.m.d. Pentru simplificare se acceptă că lungimea măsurată pe coardă este egală cu arcul, deci cu distanţa de vizibilitate care se consideră pe axa benzii de circulaţie din interior.

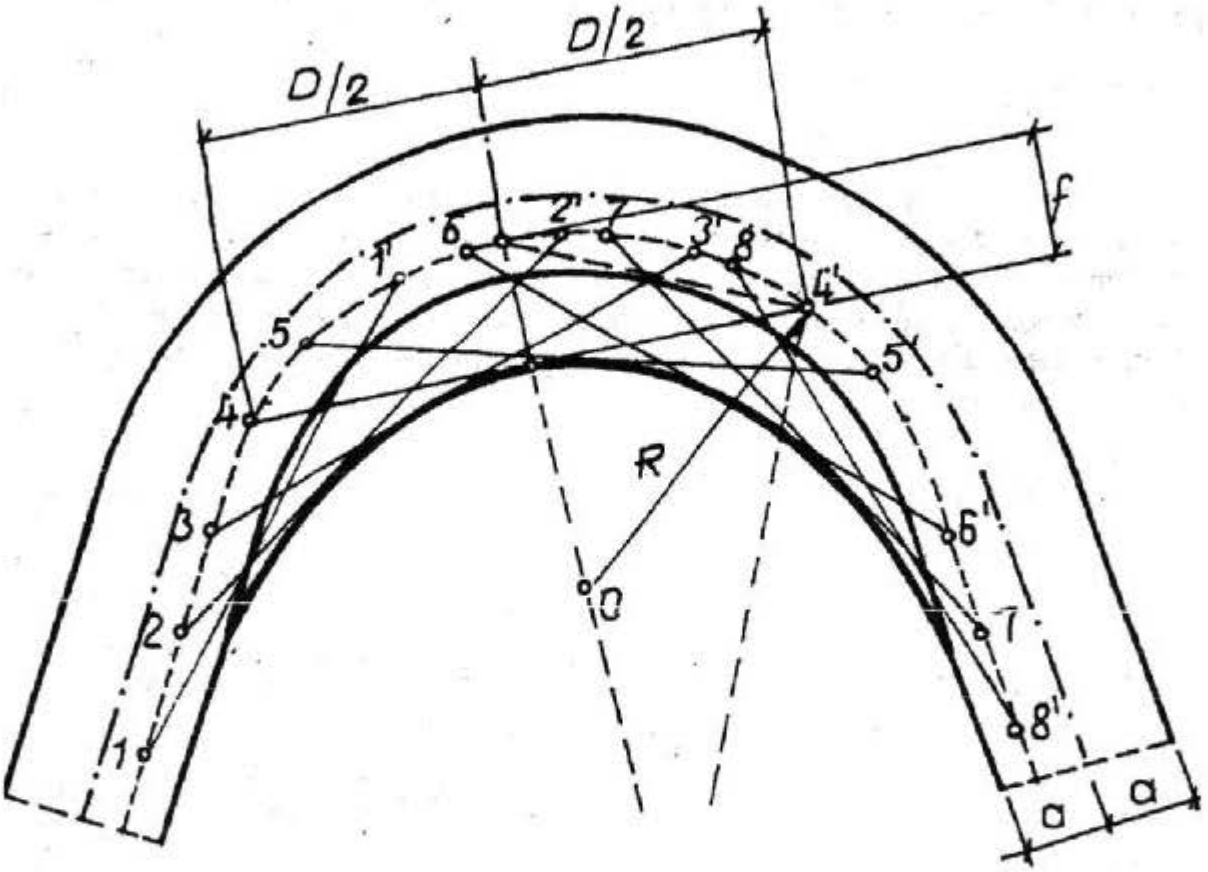


Fig. 7.6. Trasarea curbei de vizibilitate.

Înfăşurătoarea acestor corzi formează **curba de vizibilitate** (fig. 9.6).

Marginea interioară a platformei drumului şi curba de vizibilitate delimitează **câmpul de vizibilitate** care trebuie eliberat de orice obstacol pentru asigurarea vizibilităţii.

Distanţa **f** de la curba de vizibilitate şi până la axa benzii de circulaţie interioare se numeşte **distanţă liberă laterală** şi se determină grafic (după construcţia curbei de vizibilitate la scară) sau analitic, aplicând teorema înălţimii în triunghiul dreptunghic construit în fig. 9.6 (unghi drept în punctul 4'), cu relaţia următoare:

$$\left(\frac{D}{2}\right)^2 = f \cdot (2R - f) \qquad (9.24)$$

de unde, după neglijarea termenului f^2, care este foarte mic în raport cu termenul $2R \cdot f$, se obține:

$$f \cong \frac{D^2}{8R} \qquad [m] \qquad (9.25)$$

Măsura de vizibilitate (f') este distanța de la curba de vizibilitate la axa drumului și se determină din fig. 9.6. cu relația:

$$f' = f + \frac{a}{2} = \frac{D^2}{8R} + \frac{a}{2} \qquad [m] \qquad (9.26)$$

Dacă poziția utilizatorului este în axa benzii de circulație interioare (1,50...2,00 m față de marginea părții carosabile), iar înălțimea de vizibilitate (înălțimea ochiului conducătorului) este de cca 1,20 m față de nivelul îmbrăcămintei, atunci eliberarea câmpului de vizibilitate se poate face începând de la înălțimea de 1,00 m. De exemplu, modul de eliberare a câmpului de vizibilitate pentru un debleu este prezentat în fig. 9.7.

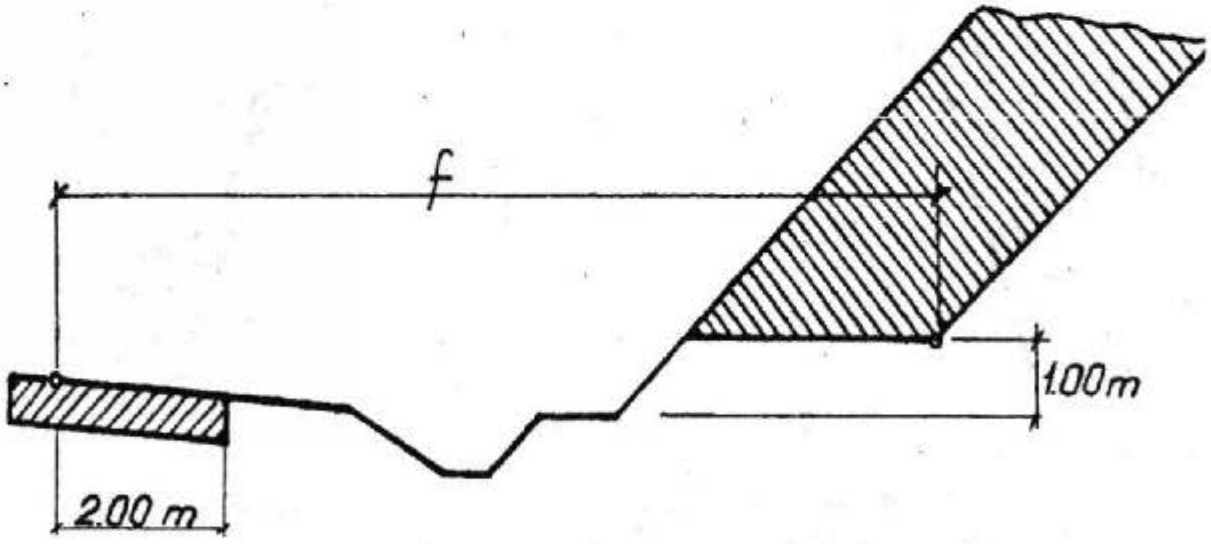


Fig. 9.7. Eliberarea câmpului de vizibilitate într-un debleu.

În cazul unor situații dificile, se examinează posibilitatea reducerii volumului de lucrări de degajare a obstacolelor laterale prin interzicerea depășirilor pe lungimea curbelor sau a zonelor fără vizibilitate, mărirea razei racordării din plan, separarea benzilor de circulație prin insule de dirijare cu borduri denivelate de tip trotuar etc.

9.3. Vizibilitatea în intersecţii de drumuri

Amenajarea unei intersecţii de două drumuri la acelaşi nivel se face ţinând seama că unul dintre drumuri este principal, urmărindu-se asigurarea priorităţii pentru fluxurile principale de circulaţie.

Intersecţia a două drumuri la acelaşi nivel se recomandă să se facă cu un unghi cât mai apropiat de 100 ^{g}. În cazul în care axele celor două drumuri care se intersectează formează un unghi ascuţit (< 70 ^{g}), traseul drumului secundar se curbează cu o rază de min. 50 m, astfel încât unghiul ce-l formează cu marginea părţii carosabile să fie unghiul drept. Pentru situaţii locale dificile, se poate admite micşorarea razei curbei care se introduce până la valoarea de 40 m.

Se va evita amplasarea intersecţiilor de drumuri în următoarele situaţii ale drumului principal:

- pe sectoarele de drum cu racordări verticale convexe lipsite de vizibilitate;
- pe sectoarele de drum cu declivităţi mai mari de 4 %;
- în interiorul curbelor în care nu se pot realiza distanţele de vizibilitate standardizate, curba de vizibilitate fiind situată la mai mult de 1,50 m de marginea părţii carosabile;
- pe cât posibil în exteriorul curbelor cu supraînălţare sau pe sectoare care impun racordări convexe ale drumului.

De asemenea, se recomandă ca distanţa dintre două intersecţii (în m) la acelaşi nivel pe drumul principal să fie cel puţin egală cu de 10 ori vireza de proiectare (în km/h) şi atunci când este posibil să nu se micşoreze sub 1 500 m.

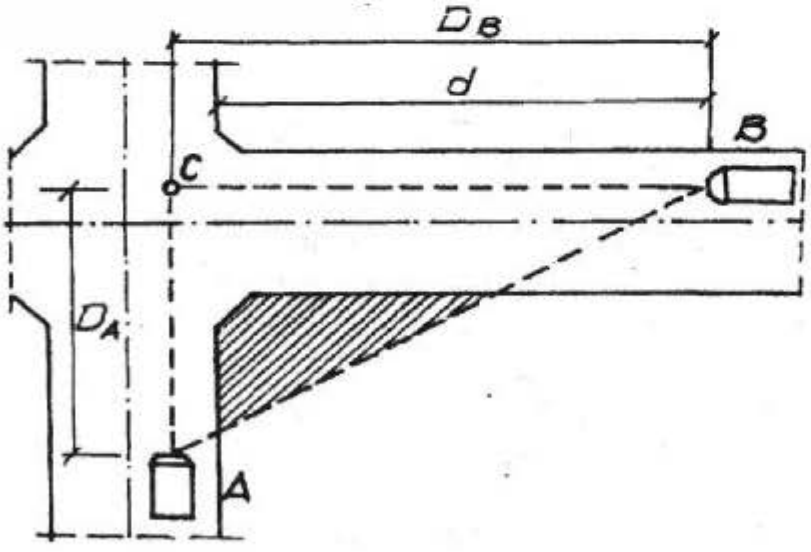


Fig. 9.8. Vizibilitatea în intersecţii.

Pentru studiul vizibilităţii în intersecţii trebuie avut în vedere faptul că utilizatorii care se apropie de o intersecţie cu o altă cale de comunicaţie la acelaşi nivel trebuie să se vadă reciproc de la o anumită distanţă pentru a frâna şi a putea opri înainte de punctul C, numit **punct de coliziune** (fig. 9.8). La drumuri, intersecţiile se amenajează ţinând seama că unul dintre drumuri se consideră principal şi trebuie să i se asigure prioritate pentru fluxurile sale de circulaţie.

Distanțele (D_A și D_B) de la care trebuie să se vadă cei doi utilizatori se pot determina funcție de viteza fiecărui vehicul, cu relația 9.8, pornind de la ipoteza că ambele vehicule pot opri prin frânare înainte de punctul de coliziune.

Practic, pentru drumuri publice, normele românești prevăd, funcție de drumul pe care se află cele două vehicule, următoarele distanțe de vizibilitate (fig. 9.8):

- pentru vehiculul A, aflat pe drumul principal, distanța D_A, dată funcție de viteza de proiectare (tabelul 9.2);
- pentru vehiculul B, aflat pe drumul secundar, este necesară o distanță minimă d = 20 m, care justifică instalarea pe drumul secundar a indicatorului "cedează trecerea" sau de d = 10 m, când pe drumul secundar se instalează indicatorul "STOP".

Rezultă că interiorul suprafeței delimitate de raza vizuală AB și marginile din interior ale părții carosabile trebuie să fie liberă de orice obstacol (zona haşurată din fig. 9.8).

Tabelul 9.2.

Poziția intersecției	Viteza de proiectare, în km/h:			
	100	80	60	40
După un aliniament de min. 400 m lungime	120	120	120	120
La min. 100 m de o curbă în plan cu rază minimă	120	100	80	60
Alte situații	120	110	100	90

Când condițiile locale permit, trebuie să se adopte distanțe de vizibilitate mari, care să țină seama de faptul că un vehicul izolat poate circula cu viteze mai mari decât viteza de proiectare, pentru o succesiune de elemente geometrice favorabilă.

În cazul intersecțiilor de străzi existente, în zone construite, distanța de vizibilitate este limitată, de regulă, de poziția construcțiilor din zonă care afectează vizibilitatea.

Pentru stabilirea condițiilor de circulație într-o astfel de intersecție, se determină vitezele maxime admise (V_A și V_B), prin egalarea distanțelor reale cu distanța de frânare dată de relația 9.9.

În final intersecția respectivă se semnalizează corespunzător vitezelor obținute prin calcule.

9.4. Vizibilitatea în plan în timpul nopții

Deoarece raportul dintre numărul de accidente şi numărul vehiculelor care circulă noaptea este superior raportului înregistrat, de regulă, pe timp de zi, vizibilitatea în plan şi profil longitudinal trebuie studiată şi asigurată şi în condițiile circulației la lumina farurilor.

Ochiul utilizatorului se adaptează bine la condițiile de iluminare pe timp de noapte, cu condiția ca luminozitatea să fie uniformă şi constantă în timp. Din păcate această condiție nu este, în majoritatea situațiilor, satisfăcută deoarece ochiul trebuie să se adapteze brusc la luminozități mult superioare față de cele normale pe timp de noapte, produse de farurile vehiculelor ce circulă în sens opus (fenomenul de "orbire"). În aceste condiții, pe timpul întâlnirii celor două vehicule, conducătorii lor percep mai greu celelalte obiecte din zona drumului.

Dacă iluminarea drumului se face numai cu farurile autovehiculului atunci utilizatorul are asigurată o vizibilitate pe cca 100 m. Lumina farurilor se răspândeşte, față de direcția mişcării, cu un unghi de divergență $\alpha_h \cong 2^0$ (fig. 9.9). Între distanța pe care se poate vedea cu lumina produsă de faruri (distanța de vizibilitate), unghiul de divergență α_h şi raza curbei **R** se poate scrie relația:

$$D \cdot 360 = 2\pi \cdot R \cdot 2\alpha_h \qquad (9.27)$$

sau:

$$D = \frac{\pi \cdot R \cdot \alpha_h}{90} \qquad [m] \qquad (9.28)$$

Pe baza relației 9.28, din punct de vedere practic, pot fi discutate următoarele cazuri:

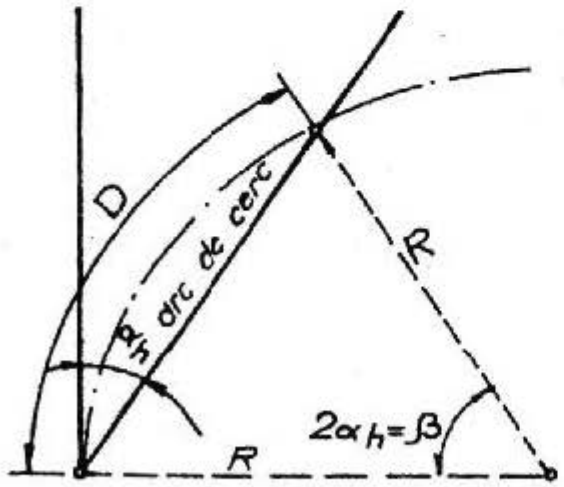


Fig. 9.9. Luminozitatea produsă de faruri.

- distanța de vizibilitate fiind limitată la 100 m, viteza vehiculului nu poate să depăşească valoarea rezultată din relația 9.8, în care: D_f = 100 m, în ipoteza evitării prin frânare a oricărui obstacol apărut pe partea carosabilă. În mod similar se pot considera alte ipoteze (de exemplu: ocolirea obstacolului);
- în curbele cu raze mici, distanța de 100 m nu mai poate fi asigurată deoarece fâşia luminată părăseşte banda de circulație (fig. 9.9), deviind în întuneric. Distanța maximă luminată pentru o anumită curbă, va fi dată de relația 9.28, iar viteza de circulație va fi limitată la nivelul valorii distanței de vizibilitate;

- distanța cu luminozitate suficientă (100 m) este cuprinsă în banda de circulație respectivă dacă raza curbei satisface relația:

$$R = \frac{90 \cdot D}{\pi \cdot \alpha_h} \quad [m] \qquad (9.29)$$

Pentru unghiuri α_h foarte mici, rezultă raze foarte mari (peste 1 000 m) și deci neeconomice, motiv pentru care, în scopul creșterii siguranței circulației, este indicată montarea în curbă, funcție de situație, de stâlpi dirijare, parapete, plantații în exteriorul curbei etc.

9.5. Treceri de nivel cu calea ferată

Trecerile la nivel cu calea ferată se amenajează în mod specific, funcție de modul în care se realizează semnalizarea circulației rutiere, atât pentru drumuri cât și pentru străzi. Nu se admit treceri la nivel între linii de troleibuz sau tramvai și linii de cale ferată electrificate sau linii din cadrul unei stații de cale ferată. De asemenea, nu se vor înființa treceri noi peste mai mult de trei linii de cale ferată și peste linii de garare din stațiile de cale ferată.

Treceri denivelate cu calea ferată sunt obligatorii în cazul autostrăzilor, drumurilor de clasă tehnică I și II, respectiv străzi de categoriile I și a II.

Intersecția unui drum cu o cale ferată se va face în aliniament, de o parte și de alta a trecerii fiind necesară o distanță de aliniament de min. 20 m din axa căii ferate. Pentru linii sau grupuri de linii de cale ferată cu distanța între axa lor mai mare de 30,00 m, trecerile se amenajează separat pentru fiecare linie sau grup de linii. Unghiul de intersecție între axele căii ferate și drumului (străzii) la trecerile de nivel trebuie să fie cât mai apropiat de 90 ° și în general mai mare de 70 °. Nu se admit treceri la nivel cu un unghi de intersecție mai mic de 45 ° și se va evita amplasarea intersecțiilor în zona curbelor de cale ferată cu supraînălțare.

Asigurarea vizibilității în zona trecerilor de nivel cu calea ferată trebuie să țină seama de condițiile de securitate a circulației și deci de modul în care se realizează semnalizarea circulației feroviară și rutieră. Pornind de la acest criteriu, trecerile de nivel se clasifică în trei categorii:

- treceri de nivel cu bariere sau instalații de semnalizare cu semibariere a apropierii trenului (treceri tip **b**);
- treceri de nivel cu instalații de semnalizare fără semibariere a apropierii trenului (treceri tip **sat**);
- treceri de nivel semnalizate numai cu indicatoare rutiere de prioritate (treceri tip **ir**).

Asigurarea vizibilității în zona trecerii de nivel se pune în special în cazul trecerilor echipate numai cu indicatoare rutiere de prioritate. Se consideră că vizibilitatea este asigurată dacă sunt îndeplinite condițiile de observare din zona de vizibilitate (fig. 9.10).

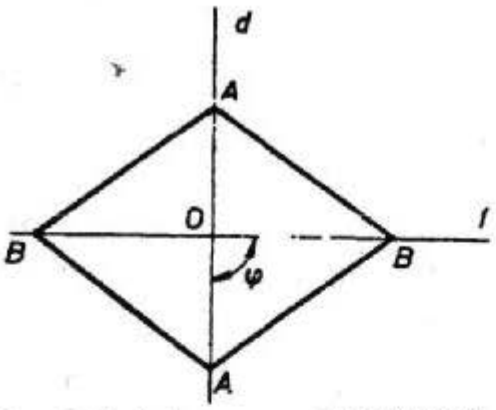


Fig. 9.10. Asigurarea vizibilității la trecerile de nivel cu calea ferată.

Zona de vizibilitate este formată din partu triunghiuri determinate de;

- axa drumului (**d** în fig. 9.10);
- axa căii ferate (**f** în fig. 9.10);
- liniile de vizibilitate care unesc punctele vizuale limită, aflate pe axa drumului, respectiv axa căii ferate.

Distanța $\overline{OA}$ are următoarele valori:

- pentru drumuri de clasa tehnică III și străzi de categoria III: 50,00 m;
- pentru drumuri de clasa tehnică IV și V, respectiv străzi de categoria IV: 25,00 m, iar pentru alei pietonale: 4,00 m.

Distanța $\overline{OB}$ pentru o cale ferată simplă cu unghiul de intersecție φ = 60...90° se calculează funcție de viteza maximă de circulație a trenului (V_t), astfel:

- pentru drumuri de clasa tehnică III; IV și V, respectiv străzi de categoria III și IV: 5,5 · V_t, iar pentru alei de circulație pietonală: 3,0 · V_t;
- pentru fiecare linie ferată în plus distanța $\overline{OB}$ se majorează cu 0,8 · V_t;
- pentru treceri de nivel cu unghiul de intersecție $\varphi < 60°$ pentru fiecare 5° în minus distanța $\overline{OB}$ se majorează cu 0,1 · V_t.

9.6. Definitivarea planului de situație

După proiectarea axei căii de comunicație terestre în plan, calculul profilului longitudinal, stabilirea elementelor geometrice în profil transversal și proiectarea acestora se efectuează corelarea elementelor din cele trei planuri cu scopul determinării amplasamentelor pentru dispozitivele de colectare și evacuare a apelor de suprafață sau subterane, a lucrărilor de artă (poduri, podețe, viaducte, tuneluri etc.), a lucrărilor de sprijinire și protejare a terasamentelor, a parapetelor, a lucrărilor necesare pentru asigurarea vizibilității etc. În final, planul de situație trebuie completat cu toate elementele căii de comunicație care pot fi puse în evidență printr-o vedere de sus (marginea platformei cu supralărgirile proiectate în curbe, taluzurile, dispozitivele de colectare și evacuare a apelor de suprafață sau subterane, lucrările de artă și de sprijinire a terasamentelor, dar și limitele de proprietate, natura vegetației, cursurile de apă etc.), operația numindu-se definitivarea planului de situație. Planul de situație al unui drum sau a unei căi ferate se proiectează în mod curent la sc. 1:1 000, dimensiunile tuturor celorlalte elemente sus-menționate trebuind reprezentate la aceeași scară. De asemenea, elementele din plan ale căii de comunicație terestre se vor identifica prin poziția lor kilometrică pe sectorul respectiv. Un exemplu de plan de situație pentru drumuri este prezentat în fig. 9.11.

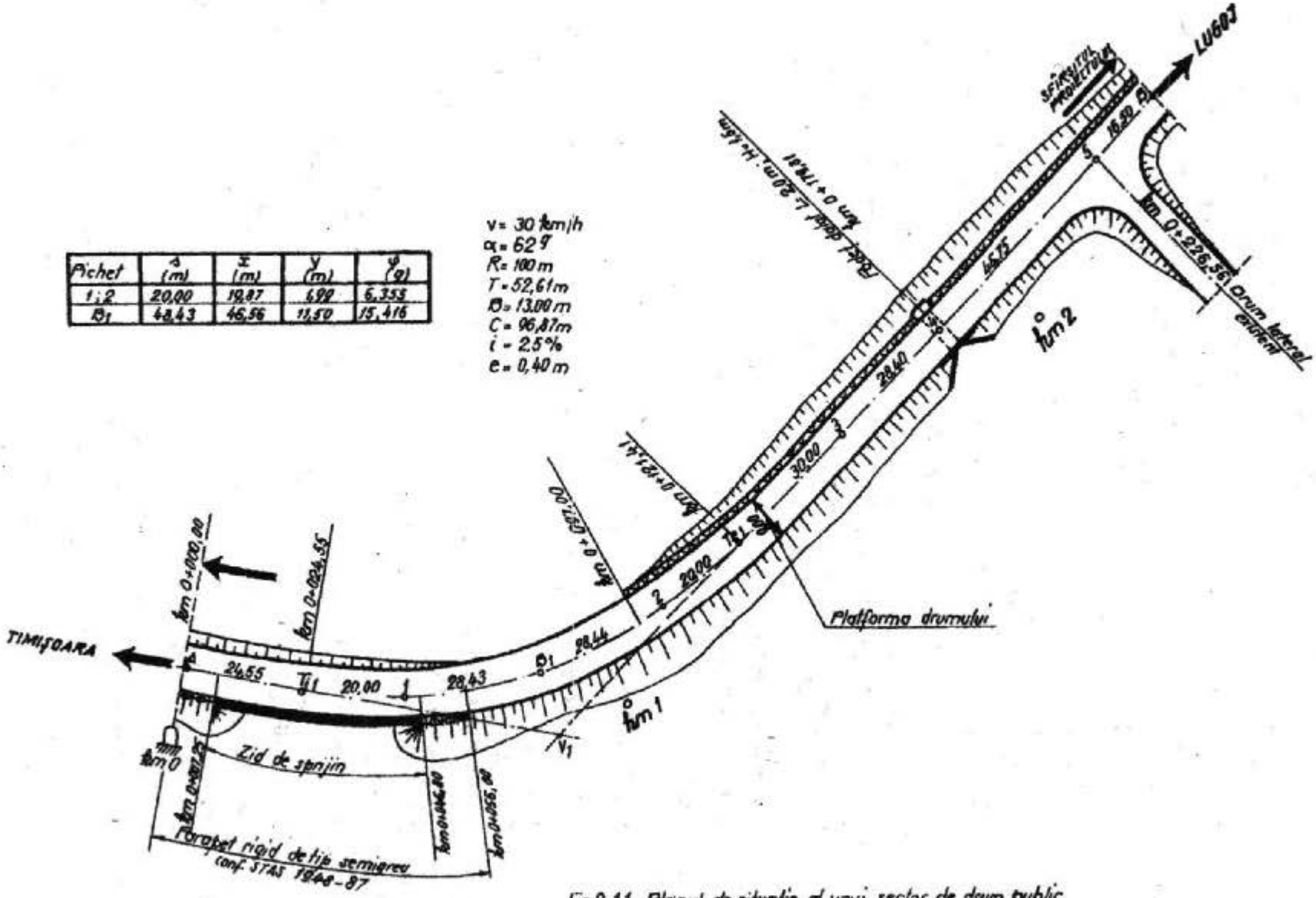


Fig.9.11. Planul de situație al unui sector de drum public

10. PROFILUL LONGITUDINAL

La punctul 2.3 au fost definite elementele geometrice din profilul longitudinal pentru căile de comunicaţie terestre, urmând ca în continuare să se prezinte sintetic principiile care stau la baza proiectării liniei proiectului şi a racordărilor verticale.

10.1. Generalităţi

În fig 10.1 este prezentat un exemplu de profil longitudinal de drum. De asemenea, sunt explicitate rubricile indicatorului pe care trebuie să-l conţină fiecare sector de drum proiectat în profil longitudinal.

Cotele liniei terenului în axă rezultă prin măsurători topografice executate în axa căii de comunicaţie terestre, iar cotele liniei proiectului în axă se calculează. Trasarea liniei liniei roşii (niveleta căii) se face cu luarea în considerare a unor condiţii tehnice şi economice care vor fi descrise în cap. 10.2.

Cotele de execuţie ale lucrărilor de terasamente în axa căii de comunicaţie se numesc **diferenţe în axă** şi se trec în rubrica corespunzătoare a indicatorului, în cm, la semnul "-" (debleu), respectiv "+" (rambleu). Diferenţele în axă se calculează în acelaşi punct al profilului longitudinal (fig. 10.2) pe baza cotei terenului (CT), cotei proiectului (CP) şi a grosimii structurii rutiere (GSR), în felul următor:

- pentru rabmleu, diferenţa în axă (DA) este dată de relaţia:

$$DA = CP - CT - GSR \quad [cm] \qquad (10.1)$$

- pentru debleu, diferenţa în axă (DA) este dată de relaţia:

$$DA = -(CT - CP + GSR) \quad [cm] \qquad (10.2)$$

Rezultă că în cazul particular în care CT = CP, diferenţa în axă va fi dată de grosimea structurii rutiere (DA = - GSR). Pentru această situaţie, în axa drumului, trebuie executată o săpătură egală cu grosimea structurii rutiere .

Proiectarea profilului longitudinal se bazează pe luarea în considerare a elementelor geometrice limită prevăzute de norme.

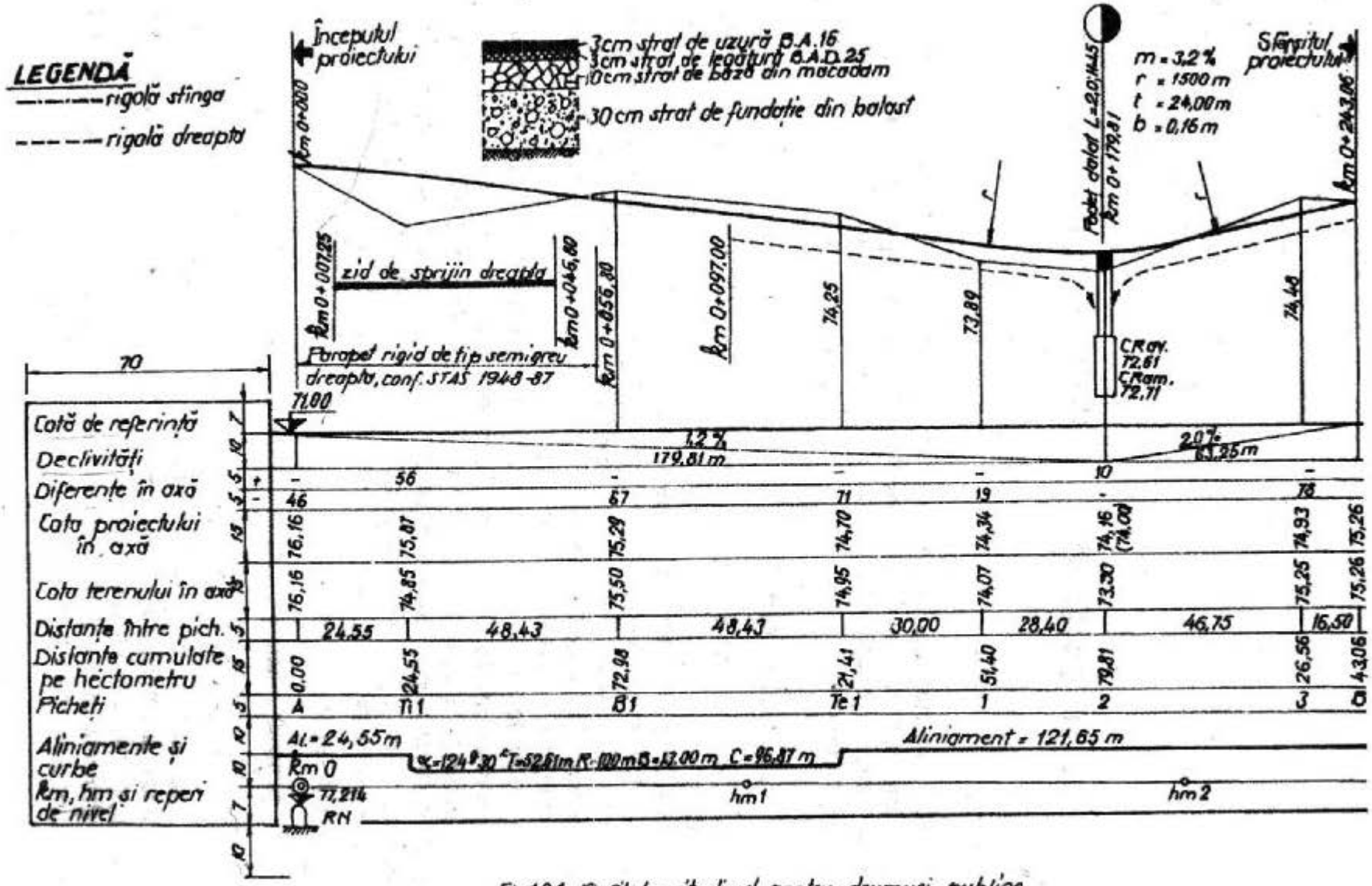


Fig.10.1. Profil longitudinal pentru drumuri publice.

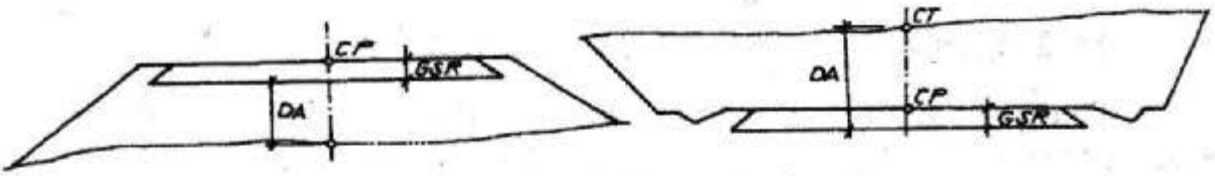


Fig. 10.2. Calculul diferenţelor în axă.

Pentru drumuri publice valorile minime ale elementelor geometrice din profil longitudinal sunt prezentate în tabelul 10.1.

Tabelul 10.1.

Caracteristica	Viteza de proiectare, în km/h:						
	100	80	60	50	40	30	25
Declivitatea maximă, în %	5	6	6,5	7	7	7,5	8
Declivitatea excepţională, în %	-	-	-	-	8	8,5	9
Pasul de proiectare minim, în m	150	100	80	60	50	50	50
Pasul de proiectare excepţional, în m	100	80	50	40	30	30	25
Raza minimă a racordărilor concave, în m	3 000	2 200	1 500	1 000	1 000	500	300
Raza minimă a racordărilor convexe la drumuri cu două sau mai multe benzi de circulaţie alăturate, în m.	10 000	4 500	1 600	1 300	1 000	800	500
Raza minimă a racordărilor convexe la drumuri cu benzi de circulaţie separate prin insule de dirijare, în m	6 000	3 000	1 500	1 000	800	500	300

În proiectare, un interes deosebit trebuie acordat liniei proiectului (linia roşie la drumuri sau niveleta căii la căi ferate), care influenţează hotărâtor condiţiile de siguranţă, confort, exploatare, întreţinere pentru un anumit sector de cale de comunicaţie.

În continuare pentru linia proiectului se va utiliza noţiunea consacrată la drumuri, adică cea de **linie roşie**.

10.2. Criterii pentru proiectarea liniei roşii

Determinarea poziţiei liniei roşii reprezintă o operaţie complexă deoarece aceasta trebuie să asigure circulaţia vehiculelor cu viteza necesară, dar în condiţii de maximă siguranţă şi confort, cu luarea în considerare a ansamblului elementelor care intervin (topografice, geologice, geotehnice, hidrologice, climaterice etc.). Din considerente de ordin economic, proiectarea liniei roşii trebuie să conducă la volume de lucrări cât mai mici şi la un cost global (investiţie iniţială, cheltuieli de exploatare pe durata prognozată, cheltuieli de întreţinere etc.) cât mai redus.

De asemenea, linia roşie trebuie să elimine neregularităţile terenului natural şi să asigure drenarea suprastructurii şi infrastructurii căii de comunicaţie pentru a se obţine condiţii hidrologice cât mai bune.

Proiectarea liniei roşii se face cu respectarea unor principii generale, cu toate că găsirea unor soluţii valabile pentru toate situaţiile este exclusă. În condiţiile sus-menţionate, linia roşie se obţine pe baza unui studiu tehnico-economic, cu luarea în considerare a criteriilor de proiectare specifice.

Se vor prezenta în continuare principalele criterii generale care stau la baza proiectării liniei roşii la drumuri şi unele precizări specifice căilor ferate.

a. Declivităţile trebuie să fie cât mai mici şi pe distanţe cât mai mari, îmbunătăţind exploatarea şi micşorând preţul transporturilor.

Declivităţile mari sunt avantajoase pentru scurtarea traseului, deci pentru micşorarea costului lucrării, deoarece conduc la mişcări de terasamente puţine şi la lucrări de artă simple. Declivităţile mari sunt favorabile unei bune drenări a apelor de suprafaţă. Din păcate, declivităţile mari sunt extrem de defavorabile pentru exploatare, mai ales în condiţii climaterice defavorabile (ploaie, zăpadă, polei), când prin micşorarea coeficientului de frecare, se ajunge la imposibilitatea desfăşurării circulaţiei. Din acest motiv declivităţile maxime la drumuri sunt cele prezentate în tabelul 10.1. De asemenea, pentru rampe mari, cu lungimi importante, este nevoie de suplimentarea forţei de tracţiune, cu creşterea semnificativă a consumului de carburanţi. Pe de altă parte, viteza şi capacitatea de circulaţie se reduc, există riscul de accidente, uzurile autovehiculului cresc etc.

În literatura de specialitate există noţiunea de **declivitate economică** care, la coborâre permite circulaţia vehiculului fără să atingă o viteză periculoasă şi fără să fie necesară folosirea frânelor, respectiv, la urcare permite circulaţia vehiculului fără să fie necesară schimbarea treptei de viteză.

Deoarece influenţa declivităţilor este mai defavorabilă pentru circulaţia în rampă decât în pantă, pe drumuri (autostrăzi) cu căi unidirecţionale devine interesantă soluţia cu profiluri longitudinale diferite (declivităţi mai mari în pantă şi declivităţi mai mici în rampă).

La proiectarea liniei roşii, în afară de limitarea mărimii declivităţilor, se mai urmăresc:

- evitarea "înălţimilor pierdute";

- evitarea declivităţilor alternative (în "dinţi de fierăstrău");

- evitarea frângerii frecvente a liniei roşii, prin mărirea cât mai mult a pasului de proiectare (vezi tabelul 10.1);

- schimbarea declivităţilor se recomandă să se efectueze în aliniament pentru a nu se îngreuna condiţiile de mişcare a vehiculului în curbă şi din considerente de confort optic. Dacă acest lucru nu este posibil, trebuie să se asigure suprapunerea în cât mai mare măsură a racordărilor din plan cu cele din profil longitudinal.

Pentru creşterea capacităţii de circulaţie pe rampe accentuate de lungimi mari, se proiectează aşa-numitele **benzi suplimentare pentru traficul lent**, care constau în introducerea în rampă a unei benzi de circulaţie destinată vehiculelor grele (vehiculele rapide au posibilitatea să se deplaseze pe banda centrală cu viteze ridicate).

Pentru a uşura circulaţia pe sectoarele de drum cu rampe prelungite, cu declivitatea medie ponderată $d \geq 5$ %, după fiecare diferenţă de nivel de 75...90 m se introduc **odihne** cu lungimea de minimum 100 m (se măsoară între punctele de tangenţă ale racordărilor verticale) şi declivitatea de maximum 2 %.

La căi ferate normale, declivitatea maximă admisă este în general de 40 ‰ în regiunile accidentate cu climă uscată şi de 30 ‰ în regiunile accidentate bogate în precipitaţii. Regulamentul de Exploatare Tehnică CFR prevede că declivitatea maximă a liniei curente pentru construcţii noi să fie de 15 ‰ pentru regiuni cu relief accidentat şi de 4 ‰ în celelalte regiuni. În România, se află în exploatare căi ferate cu ecartament normal cu declivităţi de max. 30 ‰. Sectorul de cale ferată cuprins între schimbări succesive de declivitate se numeşte **element de profil**, care se caracterizează prin **declivitatea elementului şi lungimea elementului de profil** (distanţa pe orizontală dintre cele două schimbări succesive de declivitate). Lungimea elementelor de profil la căi ferate normale trebuie să fie de min. 200 m, cu observaţia că în cazuri excepţionale (zone dificile) se poate micşora până la 100 m.

b. În curbe, linia roşie trebuie proiectată cu declivităţi mai mici deoarece:

- declivitatea longitudinală (d) se adună vectorial cu panta transversală unică în curbă (i), conducând la o pantă majorată numită pantă oblică (p_0), care trebuie să fie inferioară declivităţii admise (tabelul 10.1);

- dacă în axa căii declivitatea este cea calculată (d), atunci declivitatea pe marginea exterioară (d_e) a părţii carosabile este mai mare ($d_e > d$), diferenţa crescând o dată cu micşorarea razei. Normativele în vigoare limitează la max. 1 % variaţia declivităţii pe marginea exterioară a părţii carosabile, rezultând că în curbe declivităţile maxime sunt mai mici decât cele admise, în funcţie de razele curbelor. Valorile declivităţilor maxime în curbe sunt prevăzute prin normativele în vigoare (STAS 863-85), funcţie de rază şi viteză de proiectare (vezi anexa 2);

- în curbe vehiculul trebuie să învingă o rezistenţă suplimentară.

c. Scurgerea apei trebuie asigurată, mai ales pentru sectoarele în debleu, printr-o declivitate de min. 0,3...0,4 %, deoarece fundul dispozitivului de scurgere a apelor de suprafață (șanț sau rigolă) este, în general, paralel cu linia roșie. Trebuie, de asemenea, asigurată evacuarea laterală a apelor colectate în văi transversale drumului, prin podețe de descărcare, funcție de condițiile locale. Se folosec frecvent podețe tubulare prevăzute cu cameră de cădere în amonte (fig. 10.3).

Distanța dintre podețe se stabilește prin calcule astfel încât capacitatea de scurgere asigurată de șanț sau rigolă să nu fie depășită (de regulă rezultă lungimi de 400...500 m).

Problema este mai complicată în cazul debleurilor foarte lungi care ar necesita sporirea apreciabilă a dimensiunilor dispozitivelor de scurgere a apelor de suprafață (în conformitate cu debitele de apă colectate).

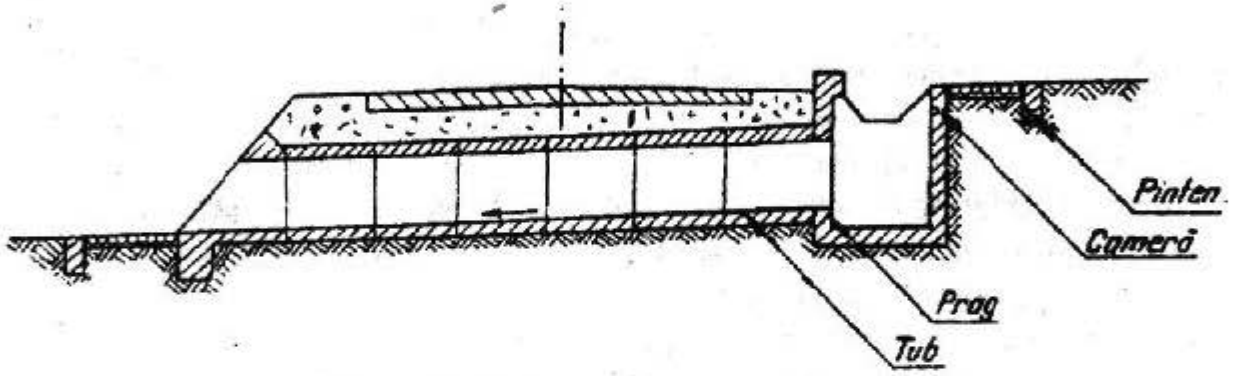


Fig. 10.3. Podeț tubular de descărcare.

În regiunile de șes scurgerea apelor se asigură convenabil prin proiectarea drumului într-un mic rambleu și prin evitarea amplasării drumului pe o direcție transversală față de panta terenului natural. În caz contrar, este obligatorie proiectarea de șanțuri de gardă la baza taluzului de rambleu.

Rezolvarea scurgerii apelor de suprafață necesită, în general, o analiză și corelare ale profilului longitudinal cu profilurile transversale curente și cu planul de situație. Se menționează că planul de situație cu curbe de nivel este favorabil găsirii soluției optime de evacuare a apelor de suprafață.

d. Pentru proiectarea liniei roșii se vor avea în vedere punctele de cotă obligată, cum sunt:

- intersecțiile de nivel cu calea ferată când cota proiectului este dată de cota șinelor de cale ferată;
- intersecțiile denivelate cu calea ferată. În cazul pasajelor superioare, înălțimea liberă față de cota șinelor se stabilește în funcție de gabaritul căii ferate, după caz electrificată sau nu (6 400...5 500 mm), și de înălțimea construcției propriu-zise. La pasajele inferioare, înălțimea liberă este dată de gabaritul de liberă trecere pentru drum (5 000 mm), după caz sporit cu grosimea stratului (straturilor) necesare pentru ranforsare (se recomandă un spor de 500 mm);

- la intersecţiile de nivel cu alte drumuri este determinantă cota liniei roşii a drumului principal;

- intersecţii denivelate între drumuri. Se recomandă ca drumul principal să rămână la nivelul terenului natural, iar, funcţie de condiţiile locale, drumul secundar să treacă pe deasupra sau pe dedesubtul drumului principal, cu asigurarea gabaritelor de liberă trecere;

- cota liniei roşii pe poduri definitive (fig. 10.4) rezultă prin adăugarea la nivelul apelor extraordinare (NAE) a înălţimii libere (h_L) şi a înălţimii de construcţie (h_C). Înălţimea liberă se stabileşte funcţie de caracterul cursului traversat (râu navigabil sau nenavigabil, pârâu, albie uscată etc.);

Linia roşie în zona lucrărilor de artă trebuie să aibă un caracter de continuitate. Se vor evita podurile, viaductele, podeţele cocoţate sau linia roşie în formă de "spinare de măgar", soluţii care sunt inestetice şi care produc condiţii de circulaţie neconfortabile.

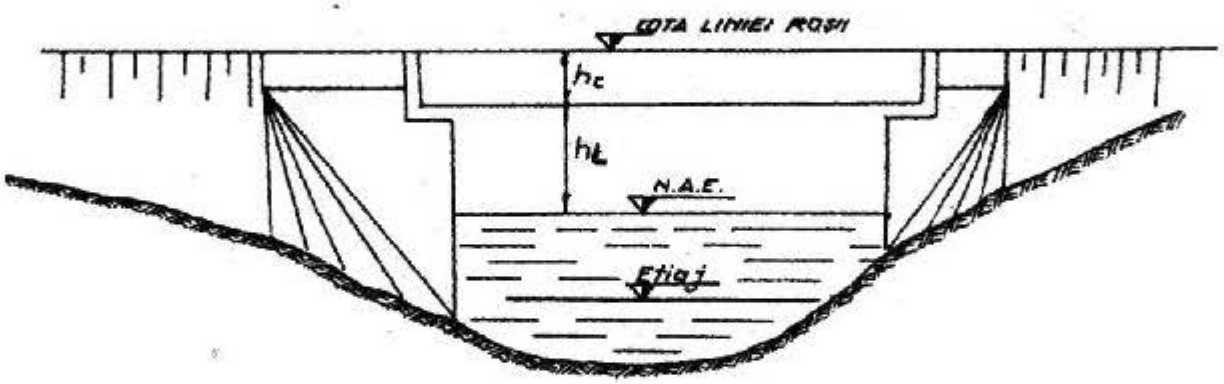


Fig. 10.4. Calculul cotei liniei roşii pe poduri.

În dreptul podurilor linia roşie se va proiecta, pe cât posibil, în palier. Se vor evita racordările de declivităţi pe poduri, asigurându-se min. 10 m de la capătul podului până la tangenta de intrare în curba de racordare verticală (fig. 10.5);

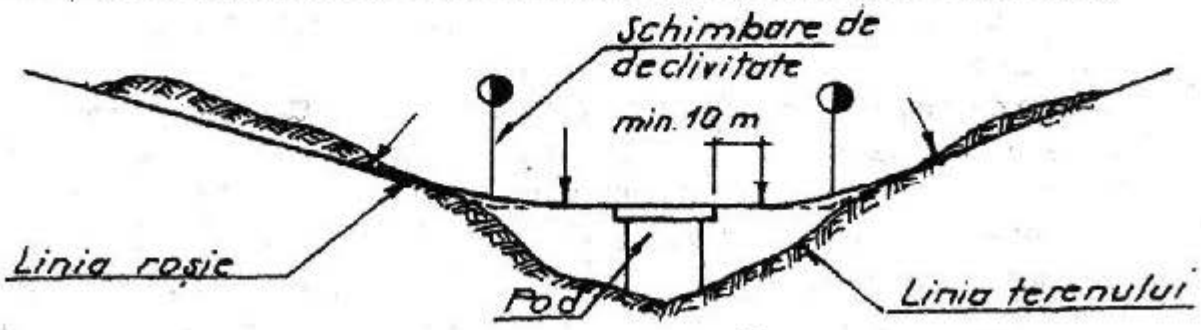


Fig. 10.5. Proiectarea liniei roşii pe lucrări de artă.

- **în vecinătatea lucrărilor de artă şi în zonele inundabile**, înălţimea rambleurilor, măsurată la marginea platformei, trebuie să fie cel puţin cu 50 cm

deasupra nivelului apelor maxime, nivel sporit cu cota remuului şi cu înălţimea valurilor;

- la podeţele tubulare de descărcare înălţimea rambleului peste extradosul tubului trebuie să fie de min. 50 cm pentru preluarea şi repartizarea eforturilor produse de vehicule (fig. 10.6).

e. Din motive economice, se recomandă ca **lucrările de terasamente să fie cât mai reduse**. Aceasta înseamnă că linia roşie trebuie să se situeze cât mai aproape de linia terenului. Este indicat ca, funcţie de condiţiile locale, linia roşie să se proiecteze într-un mic rambleu (0,50...1,00 m), deoarece:

- se asigură scurgerea apelor de suprafaţă de pe platforma drumului;
- nu are şanţuri sau rigole, care sunt greu de întreţinut;
- este expus soarelui şi vântului şi asigură o bună vizibilitate;
- pământul din rambleu este un material verificat şi capacitatea portantă la nivelul patului drumului este uniformă;
- se întreţine mai uşor;
- pe timp de iarnă se întreţine mai uşor decât un debleu.

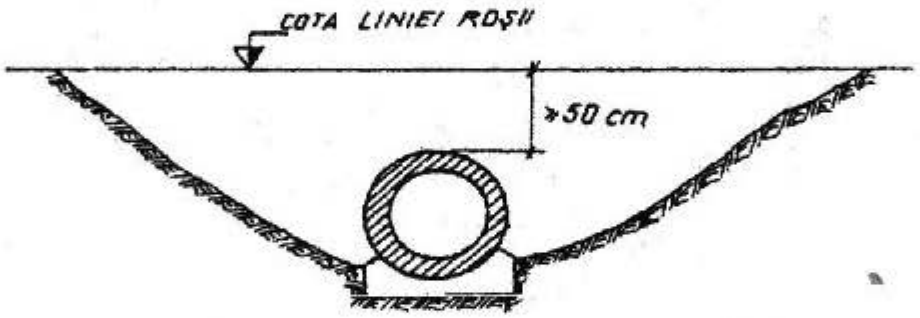


Fig. 10.6. Proiectarea liniei roşii pe podeţe tubulare.

Lucrările minime de terasamente conduc şi la costuri de investiţie reduse, dar nu se va neglija principiul de bază: alegerea soluţiei optime trebuie să se facă prin calcule tehnico-economice care să ţină seama de valoarea investiţiei şi de cheltuielile de întreţinere şi exploatare ale drumului pe perioada prognozată.

f. **Compensarea terasamentelor**, adică tendinţa de a compensa terasamentele din umpluturi cu cele din săpături, poate fi generală, dacă se referă la întregul traseu, sau parţială, când se efectuează numai pe un anumit sector. Se elimină în acest fel camerele de împrumut pentru terasamente deficitare şi eventual depozitele pentru materialele care prisosesc. În profilul longitudinal (fig. 10.7.a) egalitatea dintre suma suprafeţelor de deasupra liniei roşii (săpături, notate cu S), cu suprafeţele de sub linia roşie (umpluturi, notate cu U) nu conduce la compensarea reală a terasamentelor deoarece:

- pentru aceeaşi cotă de execuţie în axă h, suprafaţa profilului transversal (de rambleu sau de debleu) poate varia în limite foarte largi, în funcţie de configuraţia transversală a terenului natural. În aceste condiţii, volumul

terasamentelor pentru aceeaşi cotă **h** poate varia foarte mult de la o situaţie la alta;

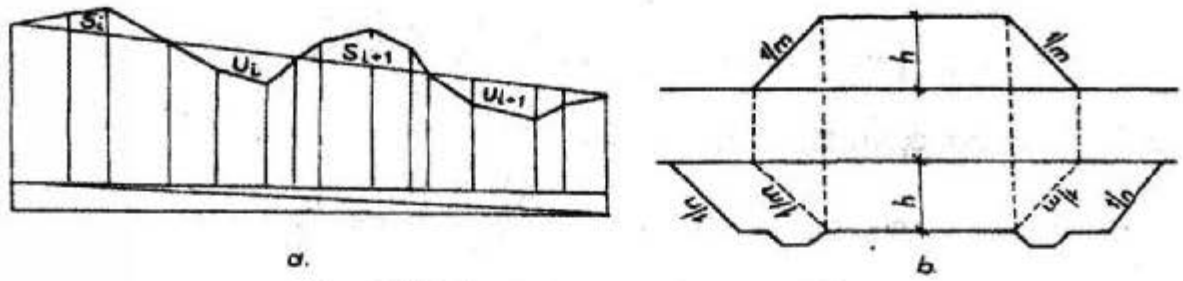


Fig. 10.7. Compensarea terasamentelor.

- pentru aceeaşi cotă **h**, pentru un teren orizontal, suprafaţa de săpătură este diferită de cea de umplutură, din cauza pantei taluzurilor şi a suprafeţelor transversale create de lăţimea şanţurilor şi a banchetelor (fig. 10.7.b).

Din aceste motive, linia roşie se ridică, faţă de linia indicativă care ar egala suprafeţele de săpătură cu cele de umplutură, cu cca 15 cm, ceea ce asigură reducerea lucrărilor de săpătură şi sporirea celor de umplutură.

10.3. Racordarea declivităţilor

Pentru a se asigura o circulaţie comodă şi o vizibilitate suficientă, trecerea de la o declivitate la alta nu se face în mod brusc prin frânturi convexe sau concave, ci prin curbe circulare sau progresive care asigură continuitatea traseului în profil longitudinal. Operaţia este cunoscută sub denumirea de **racordare verticală** sau racordarea declivităţilor.

De regulă, racordarea declivităţilor la drumuri şi căi ferate se face cu curbe circulare cu raze suficient de mari pentru a asigura o vizibilitate corespunzătoare.

10.3.1. Calculul racordării verticale

Calculul racordării verticale se poate face în acelaşi mod ca şi calculul curbelor circulare în plan orizontal. Determinarea elementelor curbei de racordare în plan vertical se face cu formulele stabilite în capitolul 4 pentru racordarea aliniamentelor cu arce de cerc, transformate pentru cazul unghiurilor la centru (α) foarte mici. Astfel, tangenta se calculează cu relaţia (fig. 10.8):

$$T = R \cdot tg\frac{\alpha}{2} \qquad [m] \qquad (10.3)$$

Unghiul α se obţine prin adunarea unghiurilor ω_1 şi ω_2, când declivităţile sunt de sens contrar (rampă şi pantă sau invers), respectiv ca valoare absolută a diferenţei unghiurilor respective, dacă declivităţile au acelaşi sens (fig. 10.8).

Unghiul α reprezintă, diferenţa algebrică a declivităţilor, considerate cu semnele lor. Dacă **m** este diferenţa declivităţilor, în procente la drumuri şi promile la calea ferată, şi făcând aproximaţiile admise în cazul unghiurilor foarte mici, se poate scrie (fig. 10.8):

- pentru declivităţi de sens contrar:

$$\alpha = \omega_1 - (-\omega_2) = tg\omega_1 + tg\omega_2 = \frac{d_1[\%] + d_2[\%]}{100} = \frac{m}{100} \qquad (10.4)$$

- pentru declivităţi de acelaşi sens:

$$\alpha = \omega_1 - \omega_2 = tg\omega_1 - tg\omega_2 = \frac{d_1[\%] - d_2[\%]}{100} = \frac{m}{100} \qquad (10.5)$$

în care:

$m = d_1 + d_2$, în %, pentru declivităţi de sens contrar şi $m = |d_1 - d_2|$, în %, pentru declivităţi de acelaşi sens.

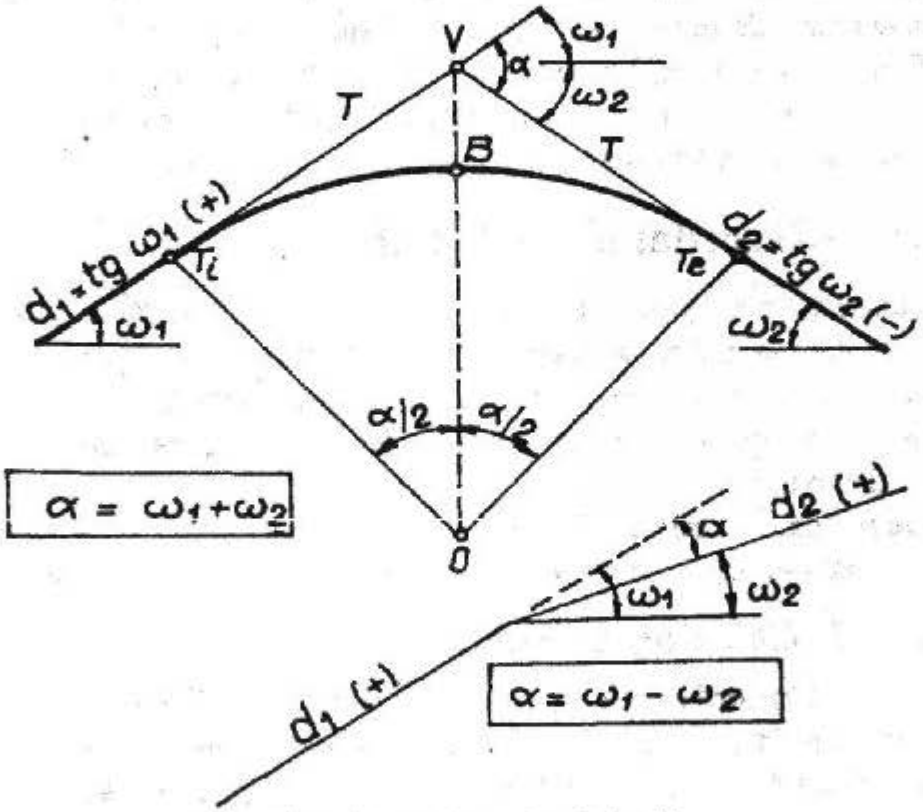


Fig. 10.8. Racordarea declivităţilor.

Având în vedere aceste precizări, tangenta racordării se calculează cu relaţia următoare:

$$T = R \cdot tg\frac{\alpha}{2} = R \cdot tg\frac{\omega_1 \pm \omega_2}{2} = R \cdot \frac{tg\omega_1 \pm tg\omega_2}{2} = \frac{R \cdot m}{200} \text{ [m]} \qquad (10.6)$$

Pentru calculul bisectoarei, se consideră triunghiul T_iOV, din care rezultă:

$$T^2 + R^2 = (B+R)^2 = B^2 + R^2 + 2RB \qquad (10.7)$$

şi neglijând pe termenul B^2 în raport cu termenul **2BR**, se obţine:

$$T^2 = 2RB \quad \text{sau:} \quad B = \frac{T^2}{2R} \qquad [m] \qquad (10.8)$$

Calculul cotelor liniei roşii pe racordarea verticală se face în mod analog. Adică, se impun distanţele **x** pe orizontală şi se calculează valorile **y** pe verticală.

Astfel, din triunghiul P'CP (fig. 10.9) se obţine:

$$x^2 + (R - y)^2 = R^2 \qquad (10.9)$$

$$x^2 + R^2 - 2Ry + y^2 = R^2 \qquad (10.10)$$

de unde prin neglijarea termenului y^2 rezultă:

$$y = \frac{x^2}{2R} \qquad [m] \qquad (10.11)$$

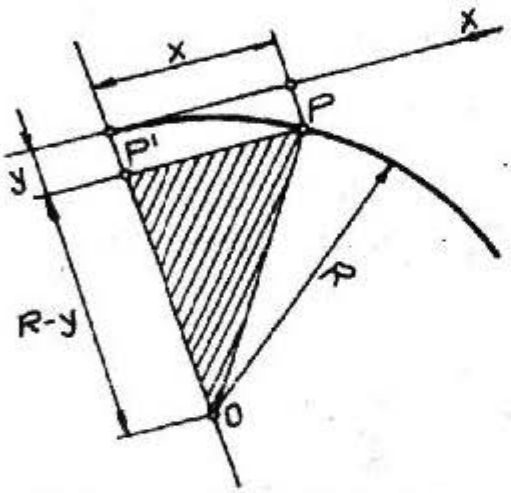


Fig. 10.9. Calculul cotelor liniei roşii pe racordarea verticală.

Valorile **y** şi valoarea bisectoarei **B** se măsoară întotdeauna pe verticală, iar valorile **x** şi valoarea tangentei **T** pe orizontală. Această aproximaţie se poate face din cauza înclinărilor foarte mici pe care le au aceste mărimi faţă de verticală, respectiv faţă de orizontală. Între punctele T_i şi T_e lungimea curbei de racordare se consideră egală cu lungimea traseului stabilit în planul de situaţie sau în profilul longitudinal, respectiv egală cu dublul tangentei T.

Notarea elementelor geometrice ale racordărilor verticale se face, de regulă, cu litere mici (**r**; **t** şi **b**) pentru a le diferenţia de elementele geometrice ale racordărilor din plan.

10.3.2. Criterii pentru stabilirea razei racordării verticale

După natura frânturilor, racordările verticale pot fi convexe sau concave (vezi punctul 2.3). Determinarea razei racordării verticale se face prin luarea în considerare a diferitelor criterii: vizibilitate, confort etc.

10.3.2.1. Condiţii de vizibilitate pentru racordări convexe

Conform criteriului de asigurare a vizibilităţii, utilizatorul aflat pe una din declivităţi, trebuie să observe un obstacol situat pe cealaltă declivitate cu o distanţă suficient de mare pentru a putea opri în faţa obstacolului (ipoteza de oprire prin frânare fiind cea mai frecventă) sau pentru a-l ocoli.

Câmpul de vizibilitate este determinat de razele vizuale ale utilizatorului, tangente la suprafaţa căii, sau, altfel spus, racordarea verticală trebuie să fie înfăşurătoarea razelor vizuale care asigură o distanţă de vizibilitate **D** (fig. 10.10).

Pentru calcule, **D** semnifică distanţa de frânare sau de ocolire determinată cu relaţiile prezentate în cap. 9, $\mathbf{h_1}$ este înălţimea ochiului utilizatorului (h_1 = 1,00...1,40 m) şi h_2 înălţimea obstacolului (h_2 = 0,10...0,20 m, respectiv h_2 = 0 pentru defecţiuni ale îmbrăcămintei rutiere).

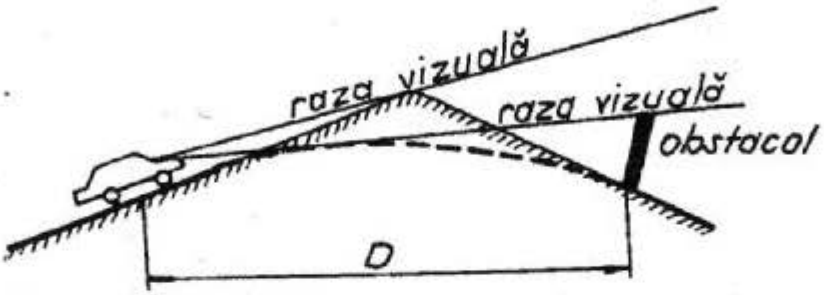


Fig. 10.10. Câmpul de vizibilitate la racordarea verticală.

În funcţie de poziţiile relative ale ochiului utilizatorului şi ale obstacolului se pot discuta trei ipoteze de calcul.

Ipoteza I: atât autovehiculul (A) cât şi obstacolul (B) se află pe curba de racordare verticală (fig. 10.11), care este de fapt ipoteza cea mai defavorabilă.

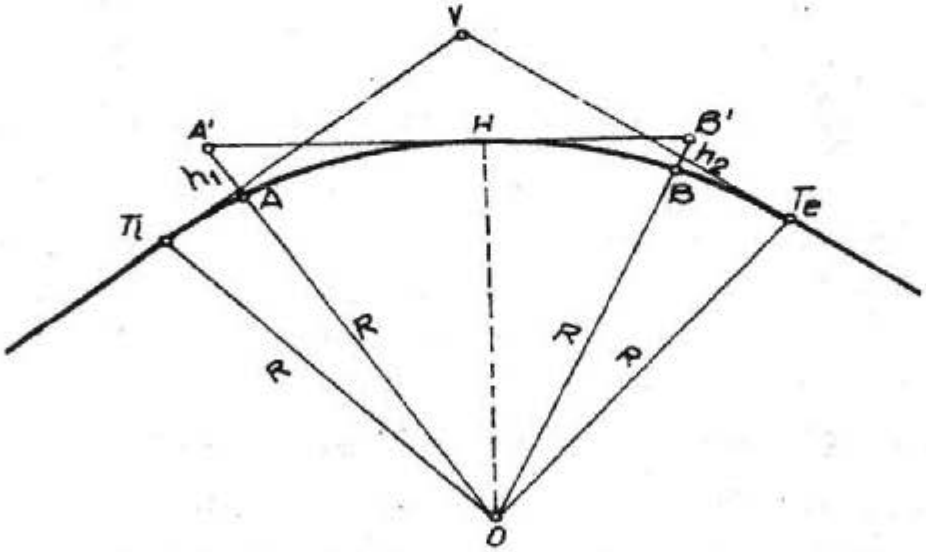


Fig. 10.11. Vehiculul şi obstacolul se află pe curba verticală.

În aceste condiţii, distanţa de vizibilitate **D** se calculează astfel:

$$D = \overline{AB} = \overline{A'B'} = \overline{A'H} + \overline{HB'} = \sqrt{(R+h_1)^2 - R^2} + \sqrt{(R+h_2)^2 - R^2} =$$

$$= \sqrt{2Rh_1 - h_1^2} + \sqrt{2Rh_2 - h_2^2} \qquad (10.12)$$

sau, prin neglijarea termenilor h_1^2 şi h_2^2, în raport cu $2Rh_1$ şi $2Rh_2$ se obţine:

$$D = \sqrt{2R}\left(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}\right) \quad [m] \qquad (10.13)$$

de unde prin ridicare la pătrat:

$$R = \frac{D^2}{2\left(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}\right)^2} = \frac{D^2}{2\left(h_1 + h_2 + 2\sqrt{h_1 \cdot h_2}\right)} \quad [m] \qquad (10.14)$$

Dacă A şi B sunt două vehicule de acelaşi tip ($h_1 = h_2$) raza racordării este dată de relaţia:

$$R = \frac{D^2}{8h_1} \quad [m] \qquad (10.15)$$

iar dacă $h_2 = 0$ (o defecţiune a îmbrăcămintei rutiere) relaţia 10.14 devine:

$$R = \frac{D^2}{2h_1} \quad [m] \qquad (10.16)$$

Ipoteza a II-a: autovehiculul (A) se află în afara curbei de racordare iar obstacolul (B) este situat pe curba de racordare sau invers (fig. 10.12). În acest caz distanţa de vizibilitate necesară este:

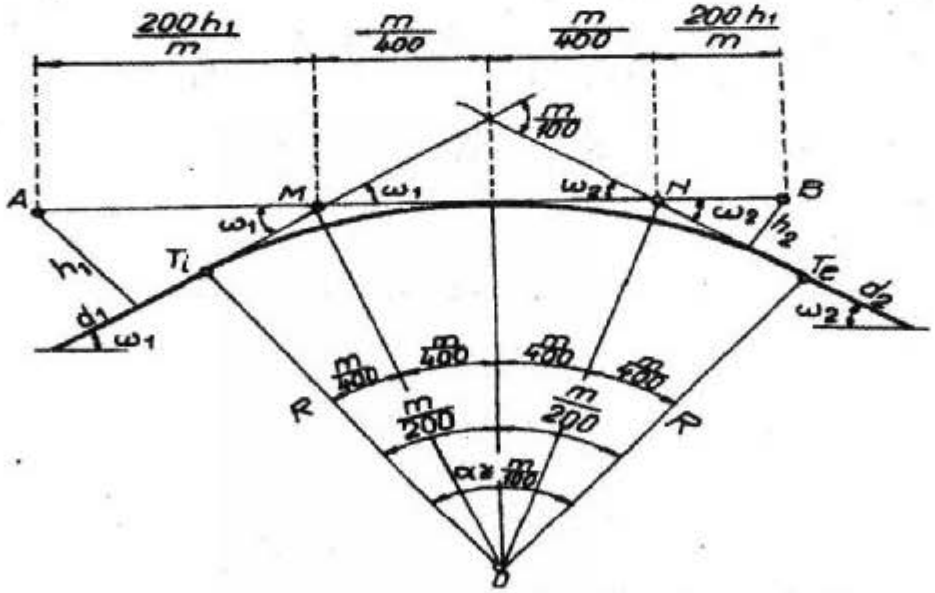


Fig. 10.12. Vehiculul se află înainte de curba verticală.

$$D = \overline{AB} = \overline{AM} + \overline{MN} + \overline{NB} \quad [m] \qquad (10.17)$$

Pentru unghiuri α mici, se consideră că $\operatorname{tg}\alpha \cong \sin\alpha \cong \alpha$, situaţie în care relaţia 10.17 se poate scrie astfel:

$$D = \frac{200h_1}{m} + \frac{2m \cdot R}{400} + \frac{200h_2}{m} \quad [m] \quad (10.18)$$

sau:

$$D = \frac{m \cdot R}{200} + \frac{200}{m} \cdot (h_1 + h_2) \quad [m] \quad (10.19)$$

din care rezultă raza racordării verticale:

$$R = \frac{200}{m} \cdot \left[D - \frac{200}{m} \cdot (h_1 + h_2) \right] \quad [m] \quad (10.20)$$

Ipoteza a III-a presupune că atât autovehiculul cât şi obstacolul se găsesc în afara curbei de racordare. Raza curbei verticale se poate deduce pe baza criteriilor de calcul prezentate la ipoteza a II-a.

10.3.2.2. Condiţii de vizibilitate pentru racordări concave

În cazul racordărilor concave, problema vizibilităţii se pune pentru circulaţia pe timpul nopţii. Distanţa de iluminare produsă de farurile autovehiculelor trebuie să fie cel puţin egală cu distanţa totală de frânare, pentru ca utilizatorul să poată evita obstacolul.

Înălţimea farurilor faţă de suprafaţa de rulare este $h \cong 0{,}75$ m, iar unghiul de divergenţă verticală a luminii farurilor este $\alpha_v \cong 1^0$. În aceste condiţii, calculul distanţei de vizibilitate (D) se poate face în două ipoteze:

Ipoteza I: distanţa de frânare (D) este mai mică decât lungimea racordării verticale (fig. 10.13). Folosind teorema înălţimii în fig. 10.13 se poate scrie:

$$(D \cdot \cos\alpha_v)^2 = (D \cdot \sin\alpha_v + h) \cdot \left[2R - (D \cdot \sin\alpha_v + h) \right] \quad (10.21)$$

sau:

$$D^2 \cdot \cos^2\alpha_v = 2R \cdot (D \cdot \sin\alpha_v + h) - (D \cdot \sin\alpha_v + h)^2 \quad (10.22)$$

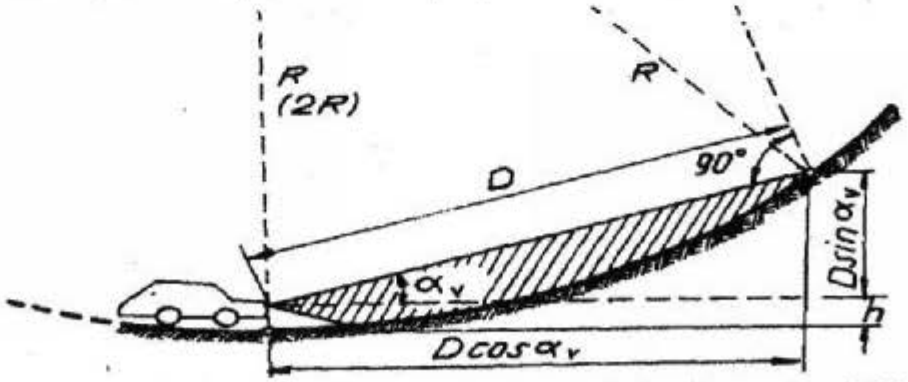


Fig. 10.13. Distanţa de frânare mai mică decât lungimea racordării.

Deoarece α_v şi **h** au valori foarte mici se poate admite că $(D \cdot \sin\alpha_v + h)^2 \cong 0$ şi $\cos\alpha_v \cong 1$, condiţii în care, din relaţia 10.22, raza minimă a racordării verticale este:

$$R = \frac{D^2}{2\left(D \cdot \sin\alpha_v + h\right)} \qquad [m] \qquad (10.23)$$

Ipoteza a II-a: distanța de frânare (D) este mai mare decât lungimea racordării verticale (fig. 10.14).

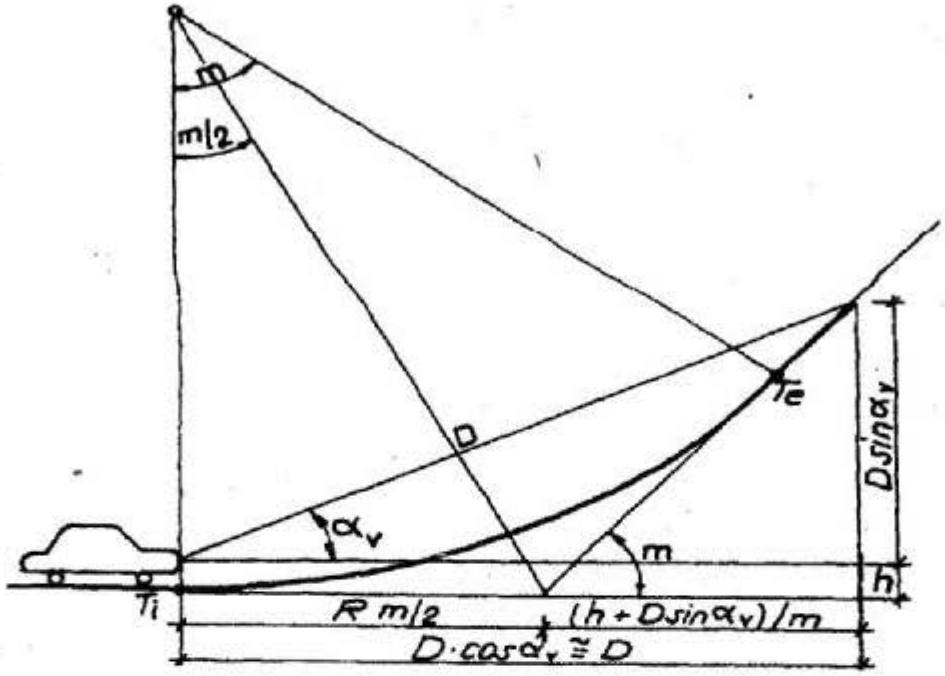


Fig. 10.14. Distanța de frânare mai mare decât lungimea racordării.

Dacă se consideră că, pentru unghiuri mici, cos $\alpha_v \cong 1$ și deci D cos $\alpha_v \cong 1$ în aceste condiții se poate scrie următoarea relație:

$$D = \frac{R \cdot m}{2} + \left(h + D \cdot \sin\alpha_v\right) \cdot \frac{1}{m} \qquad [m] \qquad (10.24)$$

de unde rezultă raza minimă a racordării verticale:

$$R = \frac{2}{m} \cdot \left[D - \frac{1}{m} \cdot \left(h + D \cdot \sin\alpha_v\right) \right] \qquad [m] \qquad (10.25)$$

Tendința este de a se adopta raze de racordare cât mai mari prin luarea în considerare a unor ipoteze de calcul acoperitoare (de exemplu prin considerarea distanței de vizibilitate necesară la depășire). Razele racordărilor verticale nu vor scădea sub valorile limită prescrise funcție de viteza de proiectare (tabelul 10.1).

10.3.2.3. Criterii de confort

Dacă racordările verticale se efectuează cu raze mici atunci vehiculele sunt supuse unor accelerații verticale importante, ceea ce influențează în mod negativ confortul călătorilor. În general, la drumuri, pentru a se asigura condițiile de confort, accelerația verticală se limitează la 5 % din accelerația gravitațională. Deci:

$$a = \frac{v^2}{R} \leq \frac{1}{20} \cdot g \qquad \text{sau:} \qquad [m/s^2] \qquad (10.26)$$

$$R \geq \frac{20\,v^2}{g} = \frac{20\,V^2}{(3{,}6)^2 \cdot 9{,}81} \cong 0{,}15\,V^2 \qquad [m] \qquad (10.27)$$

relație în care v se introduce în m/s și V se în km/h.

10.3.2.4. Criterii constructive

Criteriile constructive limitează inferior valorile minime ale bisectoarei și tangentei racordării, condiții în care se poate deduce valoarea minimă a razei. Astfel:

- valoarea bisectoarei (B) nu trebuie să scadă sub 5 cm, condiții în care, pe baza relațiilor 10.6 și 10.8, valoarea minimă a razei este dată de relația:

$$R = \frac{8\,000\,B}{m^2} = \frac{4\,000}{m^2} \qquad [m] \qquad (10.28)$$

- lungimea minimă a tangentei curbei de racordare (T) trebuie să fie de minimum V/2...V (T este în m și V este în km/h). Dacă se consideră că T = V, pe baza relației 10.6, raza minimă a racordării este dată de relația:

$$R = \frac{200\,T}{m} = \frac{200\,V}{m} \qquad [m] \qquad (10.29)$$

Raza racordării verticale trebuie să corespundă situației mai defavorabile, motiv pentru care se adoptă valoarea maximă rezultată din condițiile sus-menționate. În toate cazurile nu se acceptă valori ale razei mai mici decât cele prevăzute în normativele în vigoare (tabelul 10.1).

La căile ferate principiile de proiectare a liniei roșii sunt identice cu cele de la drumuri. Razele curbelor verticale trebuie să fie de minimum: 10 000 m pentru $V \geq 80$ km/h, 5 000 m pentru 40 km/h $\leq V < 80$ km/h și 2 000 m pentru $V < 40$ km/h, în care V este viteza maximă pe linia considerată.

La căi ferate se întocmesc trei tipuri de profiluri longitudinale și anume:

- profil longitudinal de studiu, folosit la studiul traseelor de cale ferată, la care linia proiectului (niveleta căii) reprezintă nivelul platformei căii (N.P.);
- profil longitudinal de execuție, folosit la proiectarea și execuția căilor ferate, în care se reprezintă atât nivelul superior al șinei (N.S.S.), cât și niveleta platformei, distanța dintre cele două fiind constantă;
- profil longitudinal de exploatare, folosit la exploatarea căilor ferate, în care se reprezintă nivelul superior al șinei.

În zona punctelor de secționare (stații, halte, triaje etc.) principiile de proiectare ale planului de situație și ale profilului longitudinal sunt puțin modificate deoarece în aceste puncte există semnale ce dau indicații de oprire și de pornire, apoi unele trenuri opresc, garează, se compun sau se descompun etc.

11. PROFILUL TRANSVERSAL

Profilul transversal cuprinde elementele unei căi de comunicație terestre într-o secțiune transversală normală pe axa căii, care se poate efectuată în orice punct al traseului.

Profilurile transversale reprezentate în general la scara 1:100 sunt definite prin poziția lor kilometrică și prin numărul de ordine al pichetului respectiv, care este identic cu cel din planul de situație și din profilul longitudinal.

În general, profilurile transversale sunt importante pentru:

- prezentarea elementelor necesare executării infrastructurii (dimensiuni, cote, pante transversale, modul de amenajare a terenului natural, dispozitive pentru colectarea și evacuarea apelor de suprafață și subterane etc.);
- precizarea unor elemente ale suprastructurii, în special la drumuri unde se prevede grosimea structurii rutiere și a benzilor de încadrare, eventual grosimea zestrei existente și a elementelor caracteristice lucrărilor de artă (podețe, poduri, ziduri de sprijin etc.);
- calculul volumelor de lucrări de infrastructură, a suprafeței amprizei și zonei căii de comunicație terestre și eventual a suprafețelor scoase temporar din circuitul agricol sau necesare de expropriat.

Aceste profiluri transversale se numesc **curente** și se vor proiecta obligatoriu în următoarele situații:

- în punctele extreme ale căii de comunicație;
- în punctele de schimbare a declivității precum și în punctele de schimbare a pantei terenului natural;
- la schimbarea categoriei de folosință a terenului (pășune, arabil, plantație, pădure etc.);
- la schimbarea caracteristicilor geotehnice ale terenului natural;
- în axa intersecțiilor cu alte căi de comunicație;
- în axa lucrărilor de artă (sau alte lucrări importante).

În general, profiluri transversale curente se proiectează în toți picheții materializați în planul de situație.

În afara profilurilor transversale curente, fiecare proiect va conține așa-numitul **profil transversal tip**. Acesta evidențiază toate elementele caracteristice comune profilurilor transversale curente pentru un anumit sector pe lungimea căruia amenajarea terenului natural nu se modifică, inclusiv detaliile de execuție necesare.

Elementele geometrice din profilul transversal sunt fixate prin tema de proiectare, funcție de clasa tehnică și viteza de proiectare a drumului, respectiv funcție de tipul și importanța căii ferate.

11.1. Profilul transversal al drumurilor publice

Profilurile transversale curente ale drumurilor publice se proiectează pe baza cotelor liniei roșii calculate în profil longitudinal în fiecare pichet cu respectarea lățimii necesare a părții carosabile (inclusiv supralărgirea în curbe) și a platformei, precum și a principiilor de proiectare specifice pentru taluzuri, dispozitive de scurgere a apelor, lucrări de artă, piste pentru cicliști etc.

11.1.1. Elementele profilului transversal al drumurilor

Elementele profilului transversal al drumurilor publice sunt: partea carosabilă, benzile de încadrare, acostamentele, platforma, taluzurile, banchetele, dispozitivele de colectare și evacuare a apelor, ampriza și zona drumului (fig. 11.1).

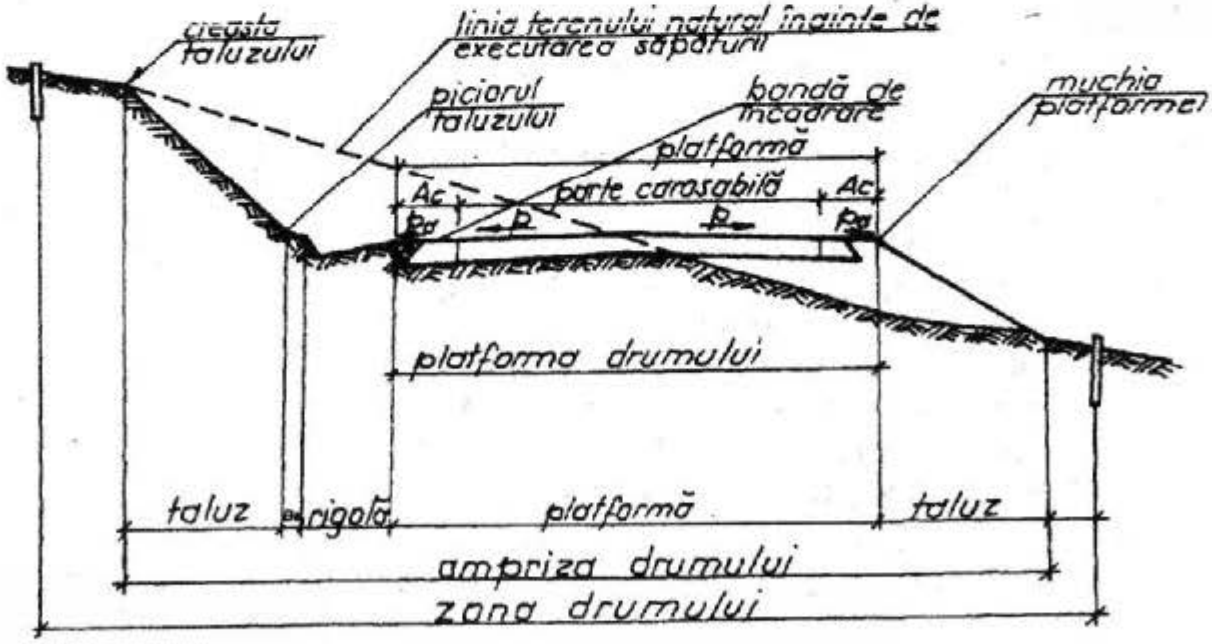


Fig. 11.1. Profil transversal de drum public.

Partea carosabilă reprezintă partea din platforma drumului special

amenajată pentru circulaţia vehiculelor. În acest scop pe lăţimea ei se proiectează structura rutieră a cărei capacitate portantă se stabileşte funcţie de caracteristicile traficului de perspectivă şi de condiţiile geotehnice şi climaterice ale regiunii respective.

Pentru asigurarea scurgerii apelor de suprafaţă, forma părţii carosabile nu este orizontală. Forma părţii carosabile în secţiune transversală se numeşte **bombament**. Acesta poate fi: curb (arc de parabolă sau arc de cerc), sub formă de acoperiş cu două pante (eventual racordate în treimea mijlocie cu un arc de cerc sau arc de parabolă) sau cu o singură pantă (sub formă de streaşină). Bombamentul curb se foloseşte la pietruiri şi pavaje, bombamentul sub formă de acoperiş la îmbrăcăminţi moderne executate mecanizat, iar bombamentul sub formă de streaşină în curbe convertite sau supraînălţate.

Panta transversală a părţii carosabile în aliniament este de 2...3 %, funcţie de tipul îmbrăcămintei rutiere.

Acostamentele sunt fâşiile laterale din platforma drumului cuprinse între marginile părţii carosabile şi muchiile platformei. În general, acostamentele îndeplinesc următoarele roluri:

- încadrează partea carosabilă, protejând marginile acesteia;
- asigură scurgerea apelor de suprafaţă, circulaţia pietonilor, staţionarea accidentală a vehiculelor;
- permit amplasarea unor elemente accesorii (borne hectometrice şi kilometrice, stâlpi de dirijare, semnalizare verticală etc.);
- permit depozitarea materialelor pentru lucrări de întreţinere (de exemplu: materiale antiderapante pe timp de iarnă);
- funcţie de lăţimea lor, pot servi la sporirea ulterioară a lăţimii părţii carosabile.

Lăţimea acostamentelor este de 1,00...3,00 m, funcţie de viteza de proiectare, clasa tehnică, condiţii locale etc. Panta transversală a acestora este de 4...6 % (pentru acostamente din pământ gazonat se adoptă panta de 4 %) pentru a asigura o scurgere rapidă a apelor de suprafaţă.

Fâşia din acostament adiacentă părţii carosabile se consolidează pe lăţimi de 0,25...0,75 m pentru a asigura atât protejarea marginilor părţii carosabile cât şi sporirea lăţimii îmbrăcămintei rutiere în cazul devierii accidentale a vehiculelor de la traiectoria normală. Aceste fâşii care se numesc **benzi de încadrare** au capacitatea portantă a complexului rutier şi panta transversală a îmbrăcămintei identice cu cele ale benzii de circulaţie adiacente.

Platforma drumului reprezintă suprafaţa formată din partea carosabilă şi cele două acostamente.În cadrul platformei sunt incluse, după caz, pistele pentru ciclişti, locurile de parcare şi trotuarele. Dimensiunile lăţimilor tipizate ale elementelor geometrice pentru drumurilor publice, în conformitate cu reglementările în vigoare în ţara noastră, sunt date în tabelul 11.1.

Tabelul 11.1.

Categoria drumului	Clasa tehnică	Platforma, în m	Partea carosabilă, în m	Acostamentul, în m	Banda de încadrare, în m
Autostrăzi în regiuni de şes şi de deal [1]	I	26,00	2 x 7,50	0,50	-
Autostrăzi în regiuni de munte [1]	I	23,50	2 x 7,00	0,50	-
Drumuri expres şi drumuri naţionale europene cu partru benzi de circulaţie	II	19,00	14,00	2,50	0,75
Drumuri naţionale principale cu patru benzi de circulaţie	II	17,00	14,00	1,50	0,75
Drumuri naţionale europene cu două benzi de circulaţie	III	12,00	7,00	2,50	0,50
Drumuri naţionale europene, drumuri naţionale principale, drumuri naţionale secundare sau drumuri judeţene cu două benzi de circulaţie [2]	III	9,00	7,00	1,00	0,50
Drumuri naţionale secundare, drumuri judeţene sau drumuri comunale cu două benzi de circulaţie [3]	IV	8,00	6,00	1,00	0,25
Drumuri comunale sau drumuri vicinale cu două benzi de circulaţie [4]	V	7,00	5,50	0,75	-
Drumuri comunale sau drumuri vicinale cu o singură bandă de circulaţie	V	5,00	4,00	0,50	-

[1] Nu sunt precizate lăţimile zonei mediane, benzilor de ghidare şi a benzii suplimentare pentru trafic lent.

[2] Pentru drumurile naţionale europene, lăţimea minimă a platformei este de 10 m, iar a benzilor de încadrare de 0,75 m. De asemenea, vor fi prevăzute platforme de staţionare din loc în loc.

[3] La drumurile judeţene şi comunale se admite ca parapetele să fie amplasate şi în cadrul lăţimii acostamentelor.

[4] Se admite ca parapetele, rigolele sau şanţurile să fie amplasate şi în cadrul lăţimii acostamentelor.

Taluzurile sunt suprafețele înclinate ale terasamentelor. Marginea inferioară a taluzului se numește piciorul taluzului, iar marginea sa superioară este denumită creasta taluzului. Înclinarea (panta) taluzului se exprimă prin tangenta unghiului format cu orizontala.

În cazul rambleurilor executate pe terenuri de fundare cu capacitatea portantă corespunzătoare, fără pericolul pierderii stabilității, panta taluzului este de 1:1,5 până la înălțimi ale rambleului h_r = 6,00...10,00 m, funcție de tipul pământului (de la argile prăfoase sau nisipoase, la pietrișuri și balasturi).

Dacă înălțimea rambleului nu depășește 12,00 m se adoptă pentru taluzuri succesiunea de pante din fig. 11.2.a.

O soluție posibilă pentru proiectarea rambleurilor înalte, executate pe pământuri cu caracteristici geotehnice corespunzătoare, o constituie introducerea de **berme** (fig. 11.2.b).

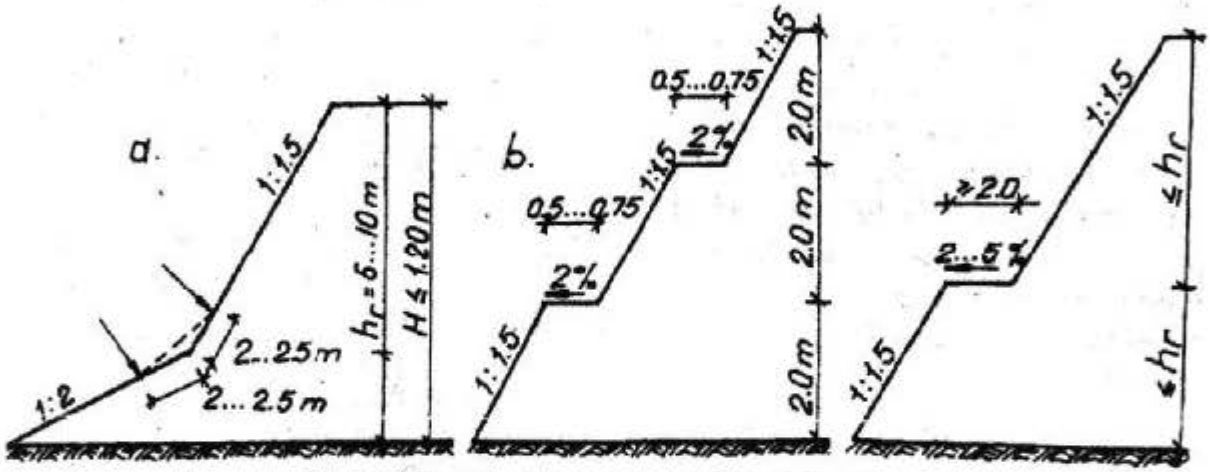


Fig. 11.2. Soluții pentru rambleuri înalte.

Amenajarea bazei rambleului se efectuează funcție de relief și de caracteristicile pământului de fundare. Astfel, până la pante ale terenului de 1:5 se îndepărtează terenul vegetal, iar pentru pante ale terenului natural de 1:5...1:3 se execută **trepte de înfrățire** cu înălțimea de 0,40...0,80 m și lățimea de min. 1,00 m (fig. 11.3.a). Pentru pante mai mari de 1:3 trebuie luate măsuri speciale contra alunecării (contrabanchete, contraforți, ziduri de sprijin), (fig. 11.3.b).

În cazul profilurilor transversale de debleu, pentru adâncimi de max. 12,00 m se admit înclinări ale taluzului de 1:1,5...1:0,1, funcție de tipul pământului (de la pământuri argiloase, până la pământuri stâncoase nealterabile). Pentru roci stâncoase nealterate cu stratificația favorabilă stabilității se admite taluzul vertical sau chiar în consolă.

Dacă debleul taie straturi de naturi diferite se adoptă pantele taluzurilor aferente fiecărui tip de pământ, separate de berme cu lățimi de min. 0,25 m. Pentru debleuri de peste 12,00 m adâncime, amplasate în condiții hidrologice defavorabile, înclinarea taluzului se stabilește prin calcul.

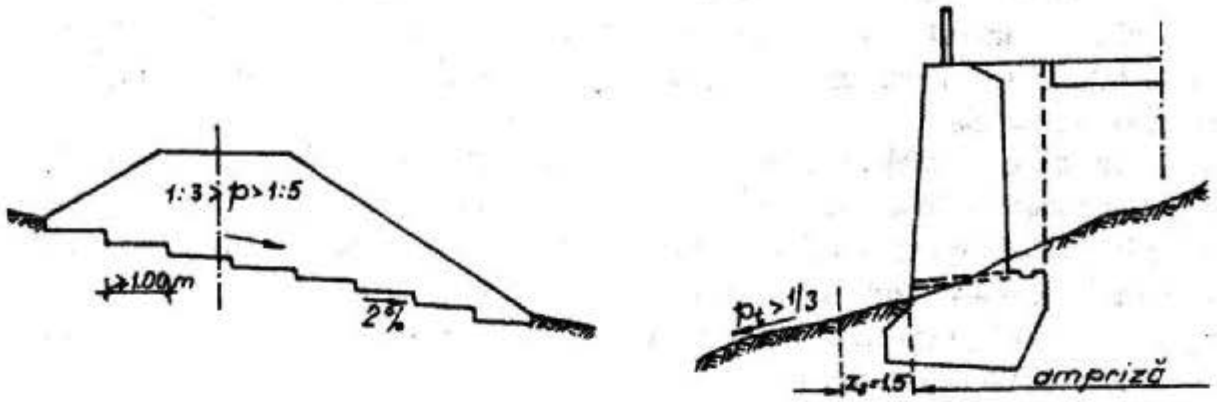


Fig. 11.3. Posibilităţi de îmbunătăţire a stabilităţii rambleurilor.

Dispozitivele pentru colectarea şi evacuarea apelor de suprafaţă au rolul de a proteja corpul drumului împotriva umidităţii prin îndepărtarea cât mai rapidă a apelor din precipitaţii din zona drumului.

În funcţie de natura pământului în care sunt executate şi de vitezele limită admise pentru evitarea erodării, şanţurile şi rigolele se protejează sau nu. În primul caz pantele variază în general în ecartul 0,1...8,0 %, iar când sunt neprotejate în intervalul 0,3...4,0 %, funcţie de natura pământului în care se execută.

La marginea platformei drumului, funcţie de debitul maxim capabil şi de lăţimea amprizei disponibile, se execută şanţuri (fig. 11.4.a) sau rigole cu secţiune triunghiulară (fig.11.4.b) sau dreptunghiulară (fig.11.4.c).

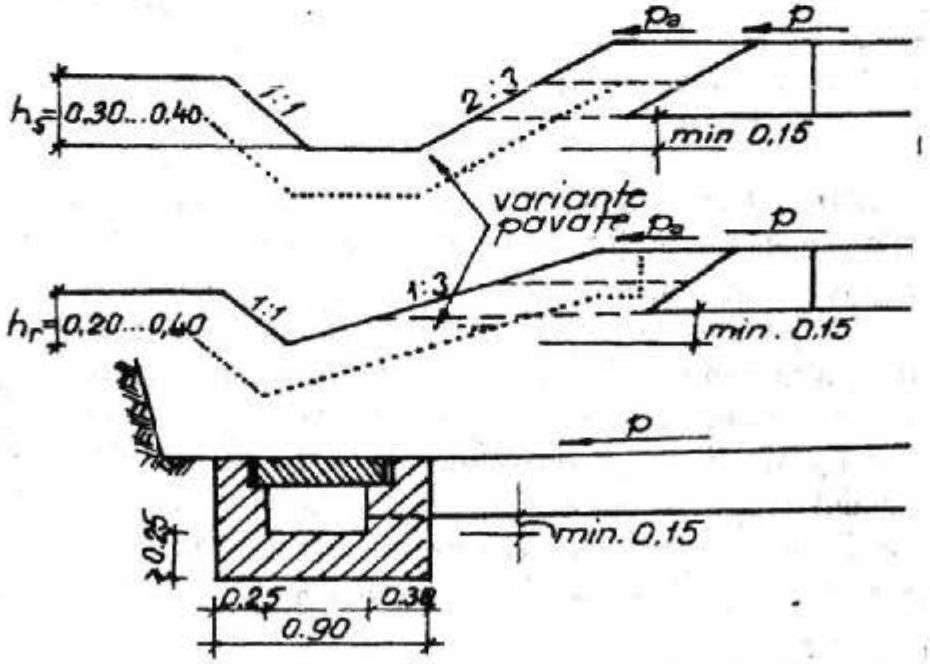


Fig. 11.4. Tipuri de şanţuri şi rigole la marginea platformei.

Distanţa dintre două puncte de descărcare succesive se stabileşte funcţie de debitul maxim capabil şi se recomandă să nu depăşească 250...400 m pentru şanţuri

şi 100...200 m pentru rigole. La profilurile transversale de rambleu şi mixte, descărcarea şanţurilor sau rigolelor se asigură prin podeţe.

Pentru interceptarea şi evacuarea apelor care se scurg de pe versanţi se prevăd **şanţuri de gardă**, atât la profilurile în debleu pentru evitarea scurgerii apelor pe taluzuri (fig. 11.5.a), cât şi la profilurile în rambleu pentru asigurarea stabilităţii (fig. 11.5.b).

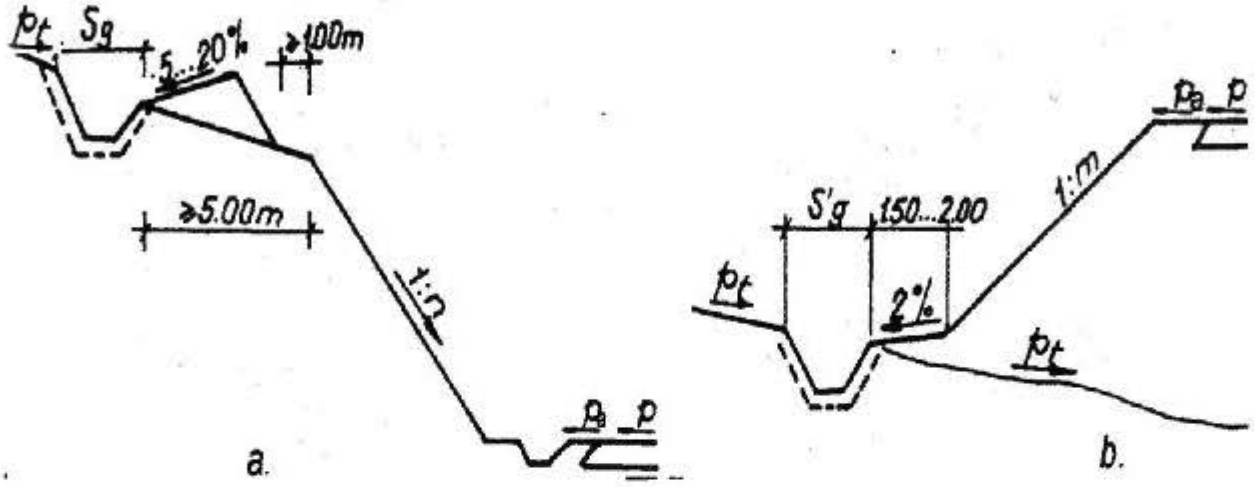


Fig. 11.5. Şanţuri de gardă.

Banchetele sunt porţiuni orizontale sau aproape orizontale (înclinări de 1...2 %) amenajate la baza taluzurilor de debleu pentru a proteja şanţurile sau rigolele. În mod curent lăţimea lor este de 0,25...0,50 m. În situaţii extreme, banchetele pot să lipsească.

Ampriza reprezintă fâşia de teren ocupată de elementele constructive ale drumului în secţiune transversală (inclusiv şanţuri de gardă), măsurată în proiecţie orizontală (fig. 11.6).

Zonele de siguranţă se prevăd lateral amprizei, cu lăţimi de 0...1,50 m, funcţie de configuraţia profilului transversal (fig. 11.6).

Zona drumului reprezintă suprafaţa de teren constituită din ampriză şi din zonele de siguranţă.

11.1.2. Lăţimea părţii carosabile

Lăţimea părţii carosabile este determinată de numărul şi lăţimea benzilor de circulaţie, deci de intensitatea şi componenţa traficului. Lăţimea unei benzi de circulaţe este stabilită prin norme, funcţie de viteza de proiectare, la valori de 3,00...3,75 m. Cu toate acestea, prezintă interes calculul lăţimii părţii carosabile funcţie de caracteristicile vehiculelor care circulă pe un anumit drum. Astfel, pentru drumurile cu două benzi de circulaţie, fiecare bandă de circulaţie este destinată vehiculelor care circulă într-un singur sens. Pentru ambele benzi de circulaţie, lăţimea părţii carosabile P_c rezultă astfel (fig. 11.7):

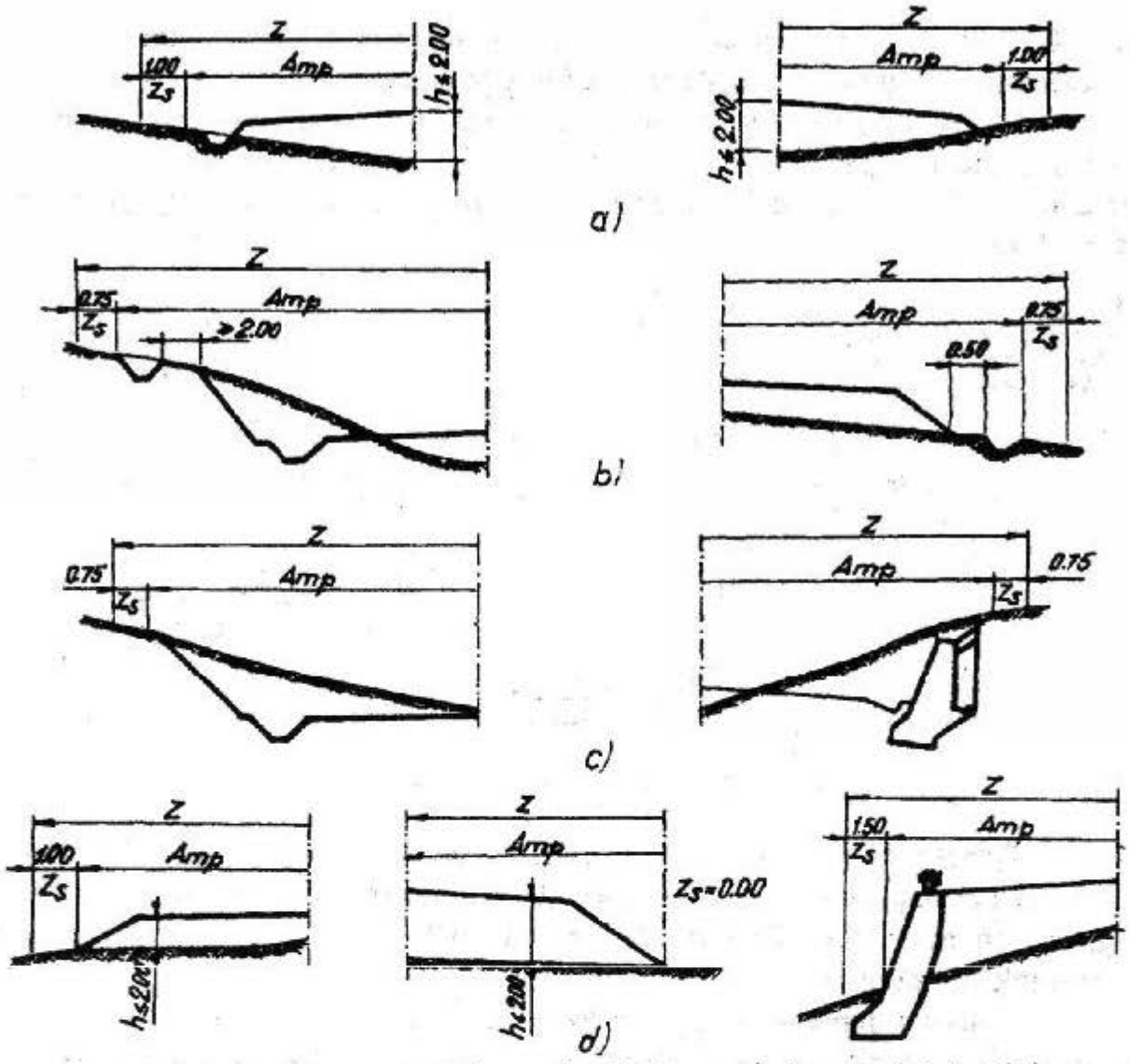


Fig. 11.6. Stabilirea amprizei, zonelor de siguranță și a zonei drumului.

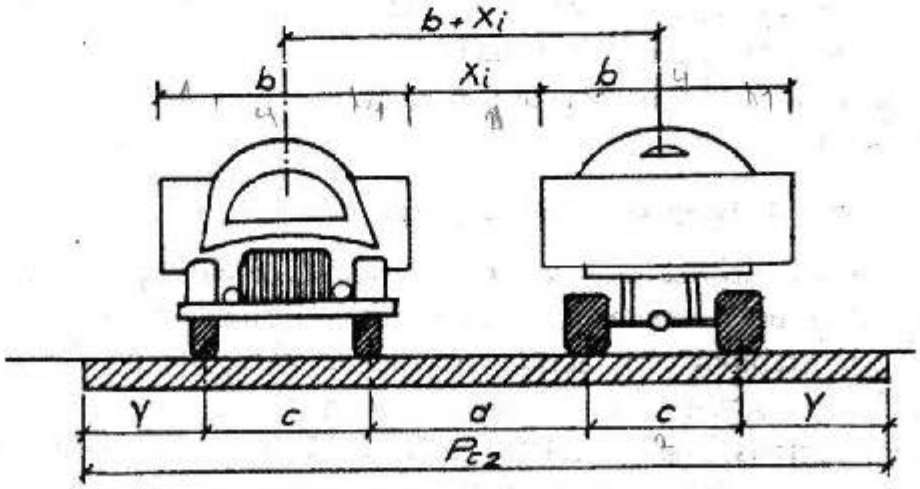


Fig. 11.7. Calculul lățimii părții carosabile.

$$P_c = 2Y + 2c + 2a \quad [m] \quad (11.1)$$

$$a = X_i + 2\frac{b-c}{2} = X_i + b - c \quad [m] \quad (11.2)$$

$$P_c = 2Y + 2c + X_i + b - c \quad [m] \quad (11.3)$$

$$P_c = 2Y + c + b + X_i \quad [m] \quad (11.4)$$

în care:

b este lățimea caroseriei vehiculelor (1,70...2,00 m pentru autoturisme și 2,25...2,75 m la autocamioane), în m;

c - distanța dintre roțile vehiculelor (cca 1,50 m la autoturisme și cca 1,75 m la autocamioane), în m;

a - mărime auxiliară de calcul, în m;

Y - spațiu de siguranță necesar de la marginea părții carosabile și până la mijlocul roții exterioare, în m. Spațiul de siguranță **Y** se poate calcula cu următoarea relație empirică:

$$Y = \frac{1,3 \cdot V^2}{710 + V^2} \quad [m] \quad (11.5)$$

sau cu formula lui Khoroshilov, în care **Y** se măsoară din marginea părții carosabile până la suprafața exterioară a roții:

$$Y = (0,1 + 0,0075\,V)^{1/2} \quad [m] \quad (11.6)$$

relații în care:

V este viteza de circulație, în km/h.

X - spațiul de siguranță dintre caroseriile a două vehicule. **X** diferă după cum vehiculele se întâlnesc (X_i) sau se depășesc (X_d). Se consideră:

$$X_i = Y \quad [m] \quad (11.7)$$

$$X_d = 0,75Y \quad [m] \quad (11.8)$$

Pentru simplificare, se poate considera că $X_d = X_i = Y$, caz în care lățimea părții carosabile, funcție de numărul de benzi de circulație, este dată de relațiile următoare:

- pentru o bandă de circulație:

$$P_{c1} = 2Y + c \quad [m] \quad (11.9)$$

- pentru două benzi de circulație:

$$P_{c2} = 2Y + c + b + X_i \quad [m] \quad (11.10)$$

- pentru trei benzi de circulaţie:

$$P_{c3} = 2Y + c + 2b + X_d + X_i \quad [m] \quad (11.11)$$

- pentru patru benzi de circulaţie:

$$P_{c4} = 2Y + c + 3b + 2X_d + X_i \quad [m] \quad (11.12)$$

Lăţimea părţii carosabile se mai poate determina prin luarea în considerare a lăţimii fâşiei de rulare a roţilor dată de limitele abaterilor posibile ale traiectoriei roţilor de la poziţia lor normală.

11.1.3. Supralărgirea părţii carosabile în curbă

Pentru înscrierea şi deplasarea vehiculelor în anumite curbe (cu raze mai mici decât o anumită valoare) este necesară o lăţime a benzii de circulaţie, respectiv a părţii carosabile, mai mare decât în aliniament. Diferenţa între lăţimea părţii carosabile din curbă şi cea din aliniament se numeşte **supralărgire**.

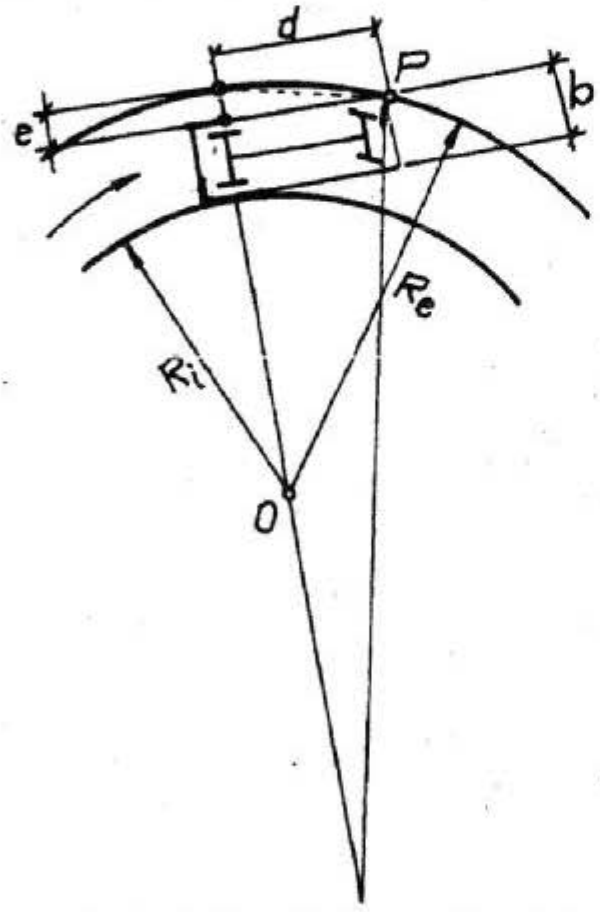


Fig. 11.8. Supralărgirea unei benzi de circulaţie pentru un vehicul fără remorcă.

Spaţiile de siguranţă **X** şi **Y** stabilite pentru lăţimea părţii carosabile în aliniament, funcţie de viteza de circulaţie, se menţin şi în curbe.

La parcurgerea curbei, roţile vehiculului descriu arce cu raze diferite: roata interioară a osiei din spate, curba cu raza cea mai mică, iar roata exterioară a osiei din faţă, curba cu raza cea mai mare.

Osia din spate rămâne în permanenţă în prelungirea razei, iar punctul P, situat la extremitatea din faţă a caroseriei, descrie curba cu raza cea mai mare şi determină mărimea supralărgirii (fig. 11.8).

Pentru o bandă de circulaţie, în cazul unui vehicul izolat, supralărgirea (e) se poate calcula uşor cu ajutorul ipotezelor sus-menţionate.

Astfel, aplicând teorema înălţimii în triunghiul dreptunghic în P (fig.11.8), pentru cazul unui vehicul cu două osii fără semiremorcă, se obţine:

$$d^2 = e(2R_e - e) \qquad [m] \qquad (11.13)$$

$$d^2 = 2e \cdot R_e - e^2 \qquad [m] \qquad (11.14)$$

sau prin neglijarea termenului e^2 în raport cu termenul $2R_e \cdot e$, rezultă:

$$e = \frac{d^2}{2R_e} \qquad [m] \qquad (11.15)$$

De asemenea, se mai obține:

$$R_i = R_e - e - b = R_e - \frac{d^2}{2R_e} - b \qquad [m] \qquad (11.16)$$

în care:

b este lățimea vehiculului, în m;

e - supralărgirea părții carosabile, în m;

R_e și R_i - razele (exterioară și interioară) ale benzii de circulație respective, în m;

d - lungimea vehiculului, măsurată între osia din spate și marginea din față a caroseriei, în m.

În mod similar, se poate proceda pentru fiecare bandă de circulație, supralărgirea totală a părții carosabile (S) fiind suma supralărgirilor parțiale (vezi relația 8.1)

Pentru calculul supralărgirii necesare trebuie luate în considerare toate categoriile de vehicule care circulă pe drumul respectiv (vehicule izolate, vehicule cu semiremorcă sau remorcă, vehicule cu două sau mai multe remorci etc.). Supralărgirea adoptată trebuie să corespundă celui mai defavorabil vehicul.

De exemplu, calculul supralărgirii necesare pentru un **vehicul cu remorcă**, în cazul unei singure benzi de circulație, se efectuează pe baza schemei din fig. 11.9, în care notațiile au următoarele semnificații:

d_r este distanța dintre osiile remorcii, în m;

b - lățimea caroseriei autocamionului, în m;

b_r - lățimea caroseriei remorcii, în m;

f - lungimea barei de tracțiune, în m;

j - lungimea consolei din spate a vehiculului motor, în m.

În aceste condiții, se pot scrie relațiile următoare:

$$R_1 = R_i + \frac{b_r}{2} \qquad [m] \qquad (11.17)$$

$$R_1^2 = \left(R_i + \frac{b_r}{2}\right)^2 \qquad [m] \qquad (11.18)$$

$$R_2^2 = R_1^2 + d_r^2 \qquad [m] \qquad (11.19)$$

$$R_3^2 = R_2^2 + f^2 \qquad [m] \qquad (11.20)$$

$$R_4^2 = R_3^2 - j^2 \qquad [m] \qquad (11.21)$$

$$R_5^2 = R_4^2 + d^2 \qquad [m] \qquad (11.22)$$

$$R_5 = \sqrt{R_4^2 + d^2} \qquad [m] \qquad (11.23)$$

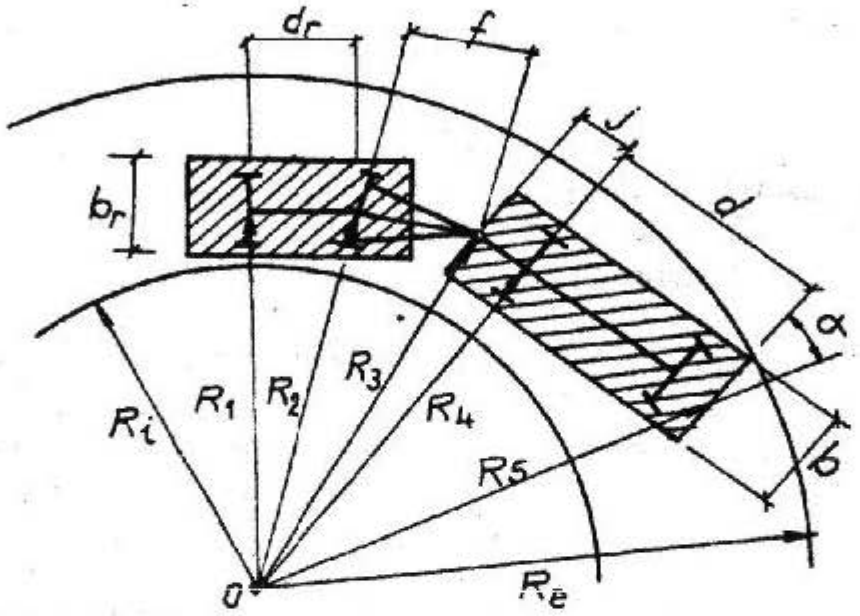


Fig. 11.9. Calculul supralărgirii pentru un vehicul cu remorcă.

Cunoscând valoarea razei R_5, în varianta unghiului α foarte mic, se poate scrie:

$$R_e \cong R_5 + \frac{b}{2} \qquad [m] \qquad (11.24)$$

sau:

$$R_e \cong \frac{b}{2} + \sqrt{d^2 - j^2 + f^2 + d_r^2 + \left(R_i + \frac{b_r}{2}\right)^2} \qquad [m] \qquad (11.25)$$

Condiţii în care supralărgirea necesară este:

$$e = R_e - R_i - b \qquad [m] \qquad (11.26)$$

Supralărgirea **S** pentru o anumită curbă, calculată cu relaţia 8.1, se introduce, de regulă, în interiorul curbei şi se păstrează constantă pe toată lungimea acesteia (vezi cap.8).

11.1.4. Profilul transversal tip

Profilul transversal tip pentru drumurile publice trebuie să conțină toate datele necesare privind modul de executare a elementelor din profil transversal pentru un anumit sector pe care acestea sunt identice.

Profilul transversal tip face obiectul unei planșe separate realizată la o scară convenabilă pentru a evidenția toate elementele de construcție din profil transversal (de regulă sc. 1:50, cu detalii de execuție la scara 1:20 sau 1:10).

Prin profilul transversal tip sunt furnizate constructorului datele necesare executării dispozitivelor de colectare și evacuare a apelor de suprafață sau subterane, a benzilor de încadrare, a alcătuirii structurii rutiere, a parapetelor etc. În cazul îmbrăcăminților din beton de ciment, profilul transversal tip trebuie să ofere informațiile necesare modului de executare a rosturilor (de contact, de contracție și de dilatație).

Un exemplu de profil transversal tip, fără detalii de execuție este prezentat în fig. 11.10.

Benzile de încadrare se aleg funcție de categoria și clasa tehnică a drumului, precum și de tipul îmbrăcămintei rutiere, alcătuirea structurii rutiere, pe baza unei analize tehnico-economice.

Modul de realizare a benzilor de încadrare diferă semnificativ de la construcțiile noi (modernizări de drumuri), la ranforsările de complexe rutiere existente.

a. Benzile de încadrare pentru construcții noi sunt cele prezentate în fig. 11.11...11.14.

În figurile menționate semnificația notațiilor este următoarea:

- 1 - straturi bituminoase (beton asfaltic, mortar asfaltic etc.);
- 2 - straturi din beton de ciment;
- 3 - straturi din agregate naturale stabilizate cu ciment sau lianți puzzolanici;
- 4 - straturi din agregate naturale (macadam, piatră spartă, balast etc.);
- 5 - umplutură de acostament;
- A - acostament;
- P_c - parte carosabilă;
- B_i - bandă de încadrare;
- M - marcaj rutier;
- h - grosimea îmbrăcămintei rutiere.

În cazul straturilor rutiere din agregate naturale stabilizate cu lianți puzzolanici (fig. 11.11 și 11.12), marginea exterioară a stratului se execută cu înclinarea 1:1, iar în cazul straturilor rutiere din agregate naturale stabilizate cu ciment, care se execută cu longrine, marginea exterioară a stratului se execută verticală.

PROFIL TRANSVERSAL TIP, pentru D.N. 79A, VÎRFURILE - CHIȘINEU CRIȘ, km 3+450...6+900

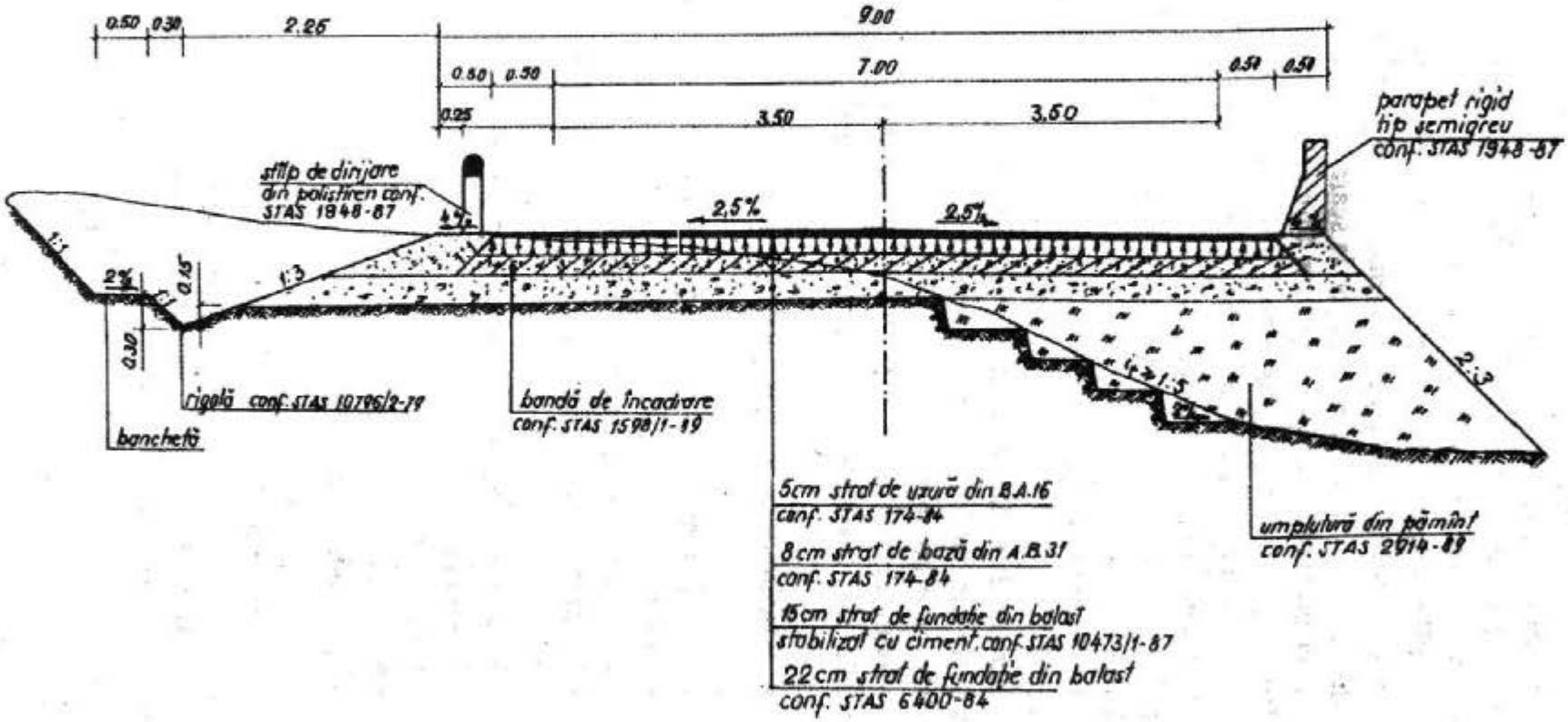


Fig. 11.10. Profil transversal tip pentru drumuri publice.

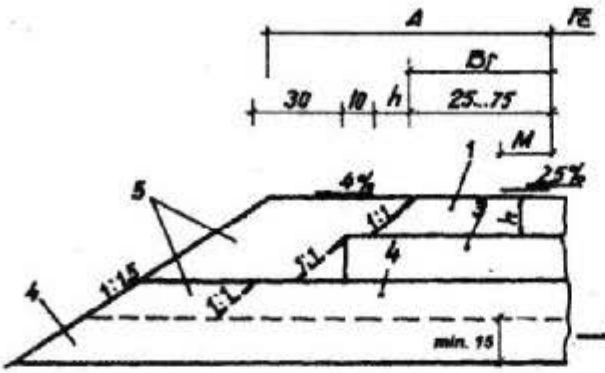


Fig. 11.11. Cazul structurilor rutiere mixte.

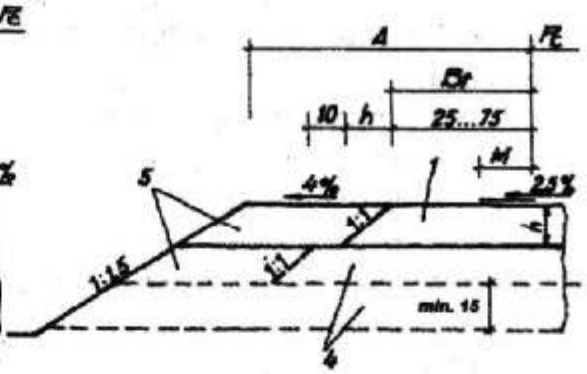


Fig. 11.12. Cazul structurilor rutiere suple.

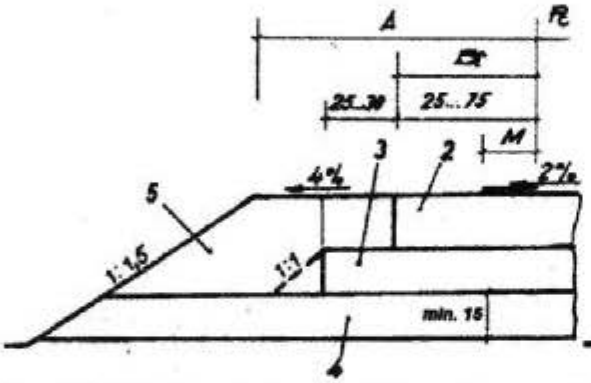


Fig. 11.13. Cazul structurilor rutiere rigide cu straturi stabilizate.

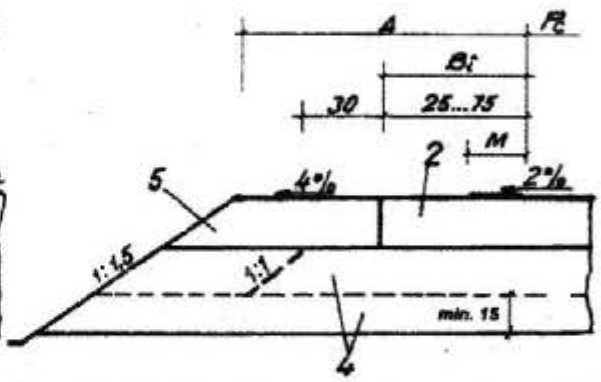


Fig. 11.14. Cazul structurilor rutiere rigide cu straturi nestabilizate cu lianți.

Pentru straturile din agregate naturale din fig. 11.13 și 11.14 care se compun din două tipuri de materiale (piatră spartă și balast), numai stratul inferior din balast se prelungește până la marginea taluzului (linia întreruptă din figuri).

Standardele în vigoare mai precizează și alte tipuri de benzi de încadrare (pentru pavaje sau pentru îmbrăcăminți bituminoase cu pene ranfort).

b. Benzile de încadrare pentru ranforsări de complexe rutiere diferă semnificativ de la o situație la alta, funcție de clasa tehnică a drumului, tipul îmbrăcămintei existente și al celei noi, precum și de lățimea părții carosabile, care la rândul ei poate fi lărgită sau nu în cadrul lucrărilor de ranforsare.În continuare se prezintă câteva soluții posibile de aplicat în cazul ranforsării complexelor rutiere pe drumuri de clasă tehnică IV (exclusiv drumuri comunale), cu lărgirea părții carosabile și trecerea după ranforsare în clasa tehnică III (fig. 11.15...11.18).

Semnificația notațiilor din figuri este următoarea:

- 1 - straturi bituminoase existente;
- 1' - straturi bituminoase pentru ranforsare;

- 2 - straturi din beton de ciment pentru ranforsare;
- 3 - straturi de fundaţie existente;
- 4 - straturi din agregate naturale stabilizate cu ciment sau cu lianţi puzzolanici;
- 5 - straturi din agregate naturale (balast, nisip, piatră spartă pe balast);
- 6 - umplutură de pământ;
- 7 - acostament consolidat;
- 8 - plasă sudată;
- 9 - material din fibre sintetice;
- A_i - acostament iniţial.

Celelalte notaţii au semnificaţiile menţionate la fig. 11.11...11.14.

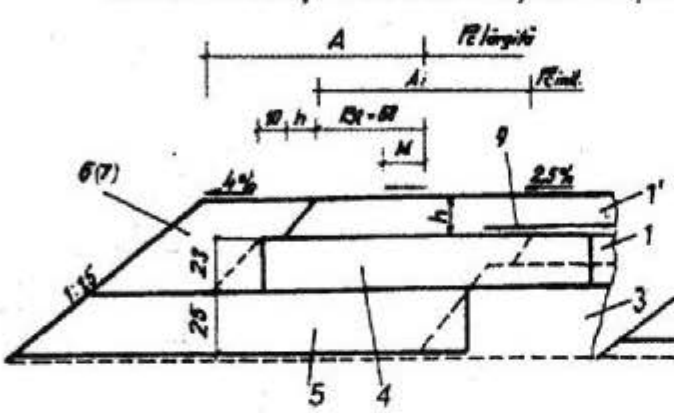


Fig. 11.15. Cazul ranforsărilor cu straturi bituminoase pe îmbrăcăminţi bituminoase fără borduri.

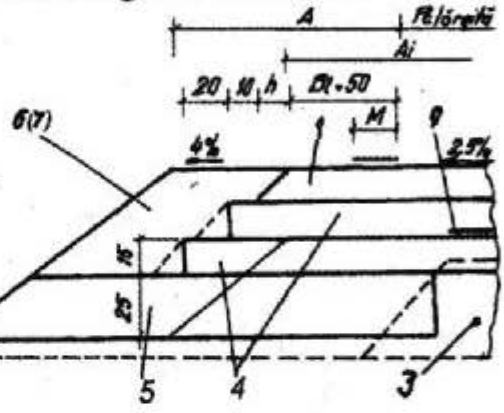


Fig. 11.16. Cazul ranforsărilor cu straturi bituminoase şi straturi stabilizate pe îmbrăcăminţi bituminoase fără borduri.

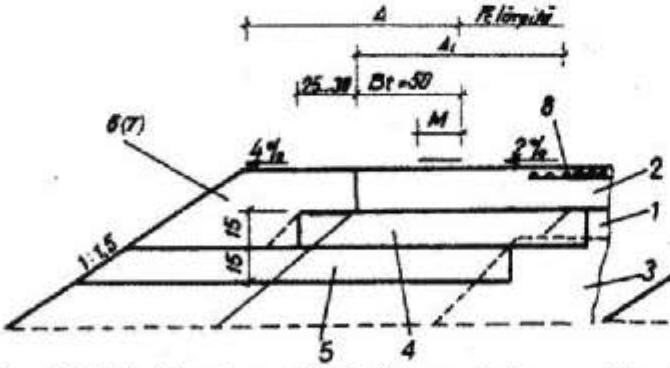


Fig. 11.17. Cazul ranforsărilor cu beton de ciment pe îmbrăcăminţi bituminoase fără borduri.

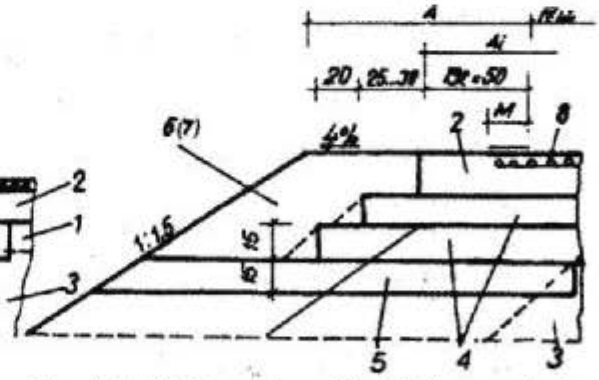


Fig. 11.18. Cazul ranforsărilor cu beton de ciment şi straturi stabilizate pe îmbrăcăminţi bituminoase fără borduri.

Atunci când se realizează ranforsarea se face cu straturi din beton de ciment pe straturi din agregate naturale stabilizate cu lianţi puzzolanici, se prevede un strat din mortar asfaltic de 2,5 cm grosime între dala din beton de ciment şi stratul

stabilizat. Marginile exterioare ale acestui strat se execută cu înclinarea 1:1 (fig. 11.18).

Pentru prevenirea fisurării straturilor rutiere de ranforsare în dreptul rosturilor longitudinale formate la îmbinările fundațiilor benzilor de încadrare cu straturile structurii rutiere existente se pot lua următoarele măsuri:

- la ranforasarea cu beton de ciment, cu sau fără straturi intermediare din agregate naturale stabilizate cu lianți, înainte de executarea noii îmbrăcăminți din beton de ciment, se poziționează fâșii cu lățimea de 0,70...0,90 m din plase sudate cu ochiuri pătrate axate pe rosturile longitudinale;
- la ranforsarea cu straturi bituminoase, cu sau fără straturi intermediare din agregate naturale stabilizate cu lianți, după execuția fundațiilor benzilor de încadrare sau a lărgirilor părții carosabile, înainte de executarea straturilor de ranforsare, se așternfâșii de țesături de fibre sintetice (geotextile), cu lățimea de 1,00 m, axate pe rosturile longitudinale.

În toate cazurile benzile de încadrare se realizează cu pantă transversală identică cu a benzii de circulație alăturate.

Modul de realizare a șanțurilor și rigolelor a fost prezentat anterior, iar asupra aspectelor legate de amplasarea dispozitivelor de colectare a apelor subterane (drenuri) se va reveni în capitolul 12.

11.2. Profilul transversal al autostrăzilor

Autostrăzile sunt căi de comunicație terestre de mare capacitate și viteză, rezervate în exclusivitate circulației autovehiculelor.

11.2.1. Elemente caracteristice ale autostrăzilor

Autostrăzile trebuie să îndeplinească în principal următoarele condiții:

- să aibă două căi unidirecționale, separate printr-o zonă mediană, fiecare cale unidirecțională fiind compusă din cel puțin două benzi de circulație;
- să nu se intersecteze la nivel cu alte căi de comunicație, toate intersecțiile trebuind să fie denivelate (numite noduri de circulație);
- accesul pe autostradă este limitat și admis numai în locuri special amenajate pentru acest scop, după reguli care conduc la realizarea deplină a siguranței circulației.

Se recomandă, pe cât posibil, ca autostrăzile să ocolească localitățile, să fie dotate cu o serie întreagă de instalații, dispozitive și amenajări speciale care să permită desfășurarea circulației cu viteze mari, în cele mai bune condiții de siguranță, confort și eficiență. Dintre dispozitivele și amenajările necesare se menționează următoarele:

- dotarea cu rețele proprii de telefonie și semnalizare-avertizare (inclusiv pentru utilizatori);
- dotarea cu districte de întreținere (baze de dezăpezire), posturi vamale la

frontieră, eventual posturi de poliție și posturi de prim ajutor etc., proprii ale autostrăzii;

- amenajarea de platforme de parcare sau staționare, armonios încadrate în peisaj, la fiecare 20...25 km;

- amplasarea unităților pentru servicii cum sunt: stații de benzină, unități de reparații auto, hoteluri, moteluri etc. pe baza unor studii tehnico-economice realizate o dată cu proiectarea autostrăzii;

- împrejmuirea autostrăzii în anumite zone, în special în apropierea localităților și la traversarea unor pășuni sau păduri, pentru ca accesul oamenilor, animalelor sau vehiculelor fără motor spre autostradă să fie oprit;

- marcarea corespunzătoare și dotarea autostrăzilor cu instalații de semnalizare verticală, amplasate fie lateral, fie deasupra căilor autostrăzilor, este obligatorie;

- se recomandă ca traseul autostrăzilor să se încadreze cât mai bine în formele de relief ale regiunilor traversate, să aibă aspect estetic corespunzător și să confere confort optic utilizatorilor.

Traseul în plan al unei autostrăzi constă, în principiu, din aceleași elemente ca și în cazul oricărei alte căi de comunicație terestră, adică din aliniamente racordate între ele prin arce de cerc sau curbe progresive, cu observația că elementele geometrice din plan vor fi calculate pentru o viteză de proiectare superioară celor practicate la drumuri de clasă tehnică II...V.

Profilul longitudinal se proiectează separat pentru fiecare cale unidirecțională. Principiile tehnice de proiectare ale liniei roșii sunt similare cu cele pentru drumurile publice, cu diferențieri rezultând din exigențele sporite în cazul unor viteze de proiectare ridicate (de regulă V = 80...140 km/h).

Nodurile de circulație sunt puncte special amenajate în scopul asigurării accesului la autostradă. În principiu, un nod de circulație comportă:

- unul sau mai multe pasaje denivelate;

- bretelele de legătură, adică drumurile care asigură circulația între căile de comunicație care se intersectează;

- benzile de accelerare și de decelerare, care fac legătura între bretele și autostrada din cale curentă (lungimea și lățimea lor se dimensionează corespunzător);

- dispozitive de siguranța circulației și de semnalizare.

Fără a se aborda clasificarea nodurilor de circulație, în fig. 11.19 se prezintă câteva tipuri de noduri de circulație curent folosite la rezolvarea proiectelor de autostrăzi.

Construcțiile anexe executate în mod curent pe autostrăzi sunt următoarele:

- locuri de parcare;

- spațiile pentru servicii (alimentare, baruri, restaurante, stații de întreținere, moteluri);

- stațiile de taxare pentru plata folosirii autostrăzii;
- posturile vamale la frontiere.

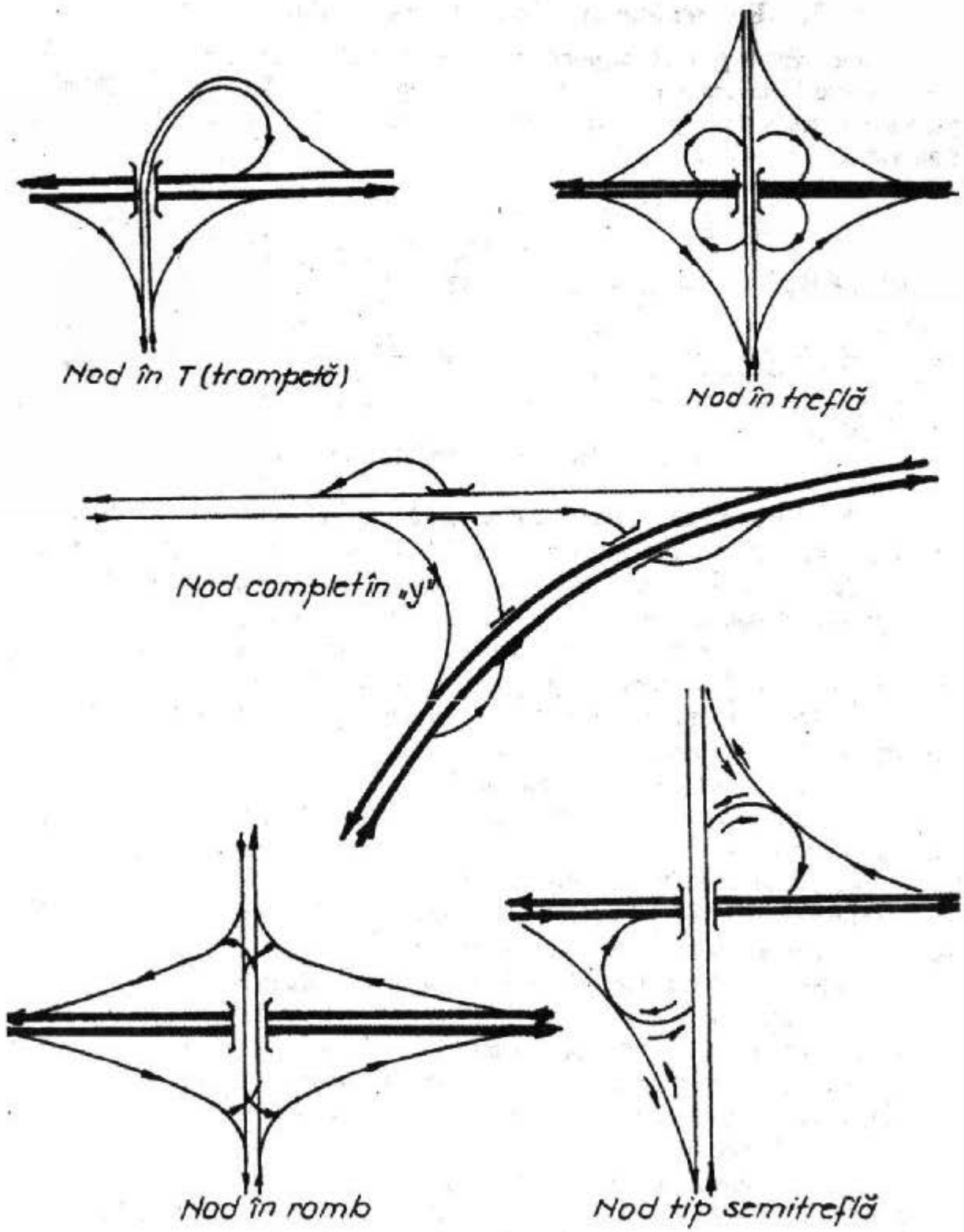


Fig. 11.19. Noduri de circulație.

De asemenea, autostrăzile necesită lucrări specifice de exploatare şi întreţinere, care nu vor fi abordate în acest capitol.

11.2.2. Elementele profilului transversal al autostrăzilor

Elementele geometrice principale ale profilurilor transversale de autostrăzi se deosebesc semnificativ de cele ale drumurilor publice. Astfel, în fig. 11.20 sunt prezentate elementele geometrice care caracterizează autostrăzile în profil transversal.

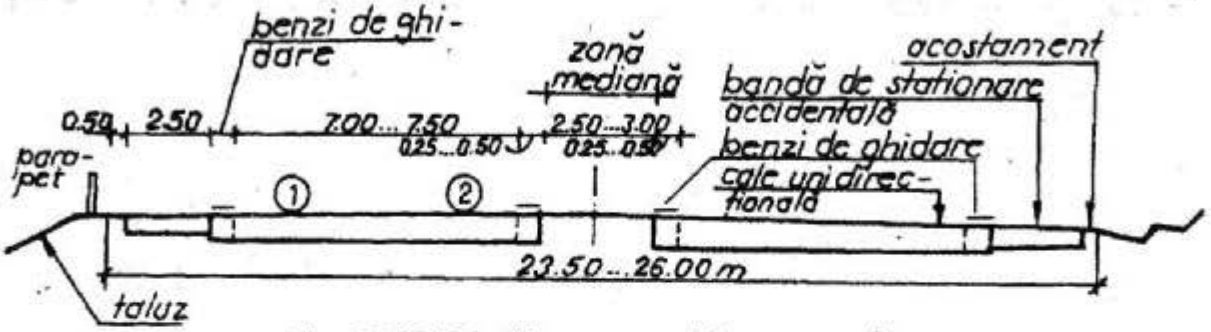


Fig. 11.20. Profil transversal de autostradă.

Partea carosabilă curentă a unei autostrăzi este alcătuită din cele **două căi unidirecţionale** care au fiecare cel puţin două benzi de circulaţie. Lăţimea benzilor de circulaţie este de 3,50...3,75 m, în funcţie de relief, viteză de proiectare, debit de serviciu, considerate economice corelate cu gradul de siguranţă admis etc. Pentru asigurarea scurgerii apelor fiecare cale unidirecţională se execută cu o pantă transversală unică spre exteriorul platformei, cu valori de 1,5 ... 2,0 %.

În România lăţimea unei benzi de circulaţie este de 3,75 m la deal şi şes, respectiv de 3,50 m la munte.

Zona mediană are următoarele roluri:

- separă cele două căi unidirecţionale contribuind la sporirea confortului şi siguranţei circulaţiei;
- serveşte la amplasarea dispozitivelor de siguranţă a circulaţiei (glisiere) şi a dispozitivelor sau plantaţiilor pentru diminuarea sau eliminarea efectului de orbire datorat luminii farurilor autovehiculelor care circulă din sens contrar;
- contribuie substanţial la sporirea capacităţii de circulaţie;
- permite trecerea, în cazuri excepţionale, a unor autovehicule (poliţie, salvare etc.) de pe o cale pe alta, prin locuri special amenajate în acest scop;
- poate servi la amplasarea unor pile ale pasajelor superioare, pentru rezolvarea semnalizării şi pentru colectarea şi evacuarea apelor de suprafaţă din zona centrală a platformei.

Zona mediană se amenajează cu lăţimi de 2,00...15,00 m (de regulă 3,00...4,00 m), funcţie de relief, viteză de proiectare etc. Se pot adopta lăţimi ale zonei mediane de 11,00...15,00 m atunci când se prevede în viitor necesitatea

sporirii numărului de benzi de circulație pe fiecare cale unidirecțională. La noi în țară lățimea zonei mediane este de 3,00 m, între marginile benzilor de ghidare, iar în regiuni de munte, în cazuri justificate tehnico-economic, lățimea se poate reduce până la 2,50 m.

Benzile de ghidare a circulației pe autostradă încadrează pe ambele părți fiecare cale unidirecțională și au rolul să delimiteze partea carosabilă, să orienteze circulația, să asigure confortul optic în special noaptea și să protejeze marginile părții carosabile. În general, benzile de ghidare se consideră în afara lățimii căilor unidirecționale, iar cele interioare nu se includ în lățimea zonei mediane. Lățimea benzilor de ghidare se încadrează în general în intervalul 0,25...0,50 m, iar panta transversală este aceeași cu cea a îmbrăcămintei căii unidirecționale. Benzile de ghidare se execută cu aceeași structură rutieră ca și căile unidirecționale, dar culoarea lor trebuie să fie distinctă față de îmbrcămintea rutieră (prin marcaj sau vopsire). La noi în țară benzile de ghidare au lățimea de 0,50 m la deal și șes, respectiv de 0,25 m la munte.

Benzile de staționare accidentală sunt amplasate pe partea dreaptă a fiecărei căi unidirecționale, după banda de ghidare exterioară. Aceste benzi au următoarele roluri:

- asigură staționarea accidentală a autovehiculelor, în afara căilor unidirecționale;
- permit degajarea urgentă a oricărui obstacol apărut pe partea carosabilă;
- sporesc substanțial spațiul de siguranță lateral, deci contribuie la creșterea capacității de circulație pe fiecare cale unidirecțională.

Structura rutieră de pe benzile de staționare accidentală poate fi executată și ulterior dării în exploatare a autostrăzii. Folosirea benzilor de staționare accidentală fără îmbrăcăminte poate fi acceptată până când debitul efectiv atinge 1/3 din debitul de serviciu admis la sfârșitul duratei de exploatare.

Structura rutieră executată pe benzile de staționare accidentală are o capacitate portantă mai redusă decât cea executată pe căile unidirecționale.

Lățimea benzilor de staționare accidentală este de 2,00...3,00 m, iar panta lor este de 3...4 % pentru îmbrăcăminți bituminoase și 2...3 % pentru îmbrăcăminți din beton de ciment. La noi în țară lățimea benzilor de staționare accidentală este de 2,50 m.

Pe sectoarele de acces pe și de pe autostradă (noduri de circulație, parcări, stații de benzină etc.) benzile de staționare accidentală se înlocuiesc pe lungimi determinate prin calcule cu **benzi de accelerare**, respectiv **benzi de decelerare**, având aceleași pante transversale și structuri rutiere cu cele ale căilor unidirecționale adiacente.

Acostamentele au lățimi de 0,50...1,50 m și îndeplinesc următoarele roluri:

- mențin stabilitatea circulației pe sectoarele pe care benzile de staționare accidentală sunt înlocuite cu benzi de accelerare, decelerare sau cu benzi suplimentare pentru autovehicule lente;
- permit amplasarea elementelor accesorii (stâlpi de dirijare, glisiere de

siguranţă, elemente de semnalizare verticală);

- asigură scurgerea în continuare a apelor de pe partea carosabilă, motiv pentru care acostamentele se prevăd cu o pantă transversală de 5...8 %.

În România, lăţimea reglementată a acostamentelor de autostrăzi este de 0,50 m.

Principiile de proiectare pentru **taluzuri, banchete, dispozitive de colectare şi evacuare a apelor** nu diferă semnificativ de cele prezentate la pct. 11.1.1.

Se reţine că în zona lucrărilor de artă (poduri, viaducte, pasaje, tuneluri) profilurile transversale ale autostrăzilor se modifică, primind o configuraţie specifică lucrării de artă traversate. Aceste profiluri au lăţimea mai mică decât cele din cale curentă şi se numesc **profiluri transversale speciale**.

11.3. Profilul transversal al străzilor

Străzile sau drumurile urbane sunt drumurile publice din interiorul oraşelor. Proiectarea străzilor trebuie să ţină seama de faptul că acestea îndeplinesc şi alte funcţii în afara rolului de cale de comunicaţie terestră. Aceste funcţii se referă, în principal la:

- sistematizarea oraşului şi deci la împărţirea administrativă a acestuia;
- pătrunderea aerului şi luminii spre clădirile oraşului;
- aşezarea sub ele sau deasupra lor a instalaţiilor tehnico-edilitare pentru asigurarea confortului locuitorilor şi salubrităţii oraşului;
- punerea în valoare a faţadelor clădirilor care le mărginesc şi asigurarea rolului estetic prin structura lor şi prin plantaţiile care le mărginesc.

Străzile mai îndeplinesc şi rolul de recreere, de agrement şi de destindere pentru locuitorii oraşului respectiv.

11.3.1. Particularităţi ale proiectării străzilor

Conform reglementărilor în vigoare, străzile din localităţile urbane din ţara noastră se clasifică în următoarele categorii:

- **străzi de categoria I, magistrale**, care asigură preluarea fluxurilor majore ale oraşului pe direcţia principală de legătură cu drumul naţional care traversează oraşul, având minimum şase benzi de circulaţie, inclusiv linii de tramvai şi alte mijloace de transport în comun;
- **străzi de categoria a II-a, de legătură**, care asigură circulaţia generală între zonele funcţionale şi de locuit, având patru benzi de circulaţe, inclusiv linii de tramvai şi alte mijloace de transport în comun;
- **străzi de categoria a III-a, colectoare**, care preiau fluxurile de circulaţie ale oraşului din zonele funcţionale şi le dirijează spre străzile de legătură sau magistrale, având două benzi de circulaţie;
- **străzi de categoria a IV-a, de folosinţă locală**, care asigură accesul la blocurile de locuit, în curţile interioare ale acestora, precum şi în zonele cu trafic foarte redus, pentru servicii curente şi accidentale, având o singură bandă de circulaţie.

Elementele geometrice ale străzilor în plan şi profil longitudinal nu diferă semnificativ de cele ale drumurilor publice, particularităţile fiind legate de elementele în profil transversal.

Proiectul unei străzi trebuie să prevadă amenajări speciale pentru partea carosabilă, trotuare, zone verzi, linii de tramvaie şi troleibuze, reţele subterane, instalaţii edilitare, evacuarea apelor, iluminat etc.

Amenajarea părţii carosabile trebuie să ţină seama de faptul că circulaţia în oraşe este alcătuită din mai multe categorii de vehicule decât pe drumurile din afara localităţilor şi anume: autovehicule, mijloace de transport în comun (pe pneuri şi pe şine), circulaţia bicicletelor şi circulaţia pietonilor. Pe de altă parte, intensitatea circulaţiei este mai mare decât pe drumurile obişnuite, motiv pentru care partea carosabilă trebuie să fie mai lată şi cu mai multe benzi de circulaţie. În cazul străzilor, principiul circulaţiei pe benzi trebuie să fie instaurat şi respectat cu mai multă stricteţe decât în afara localităţilor.

Dimensionarea lăţimii străzilor trebuie făcută pentru perioade de perspectivă mari, ţinând seama de dezvoltarea continuă a mijloacelor de transport. La proiectare trebuie prevăzută o dezvoltare etapizată a profilului transversal al străzii, pe măsura dezvoltării oraşului şi a traficului.

În zona intersecţiilor se recomandă realizarea de benzi de viraj la stânga, respectiv la dreapta, spaţii de stocaj, semaforizare etc. Toate acestea se realizează cu scopul creşterii capacităţii de circulaţie şi a siguranţei dispozitivului.

Se recomandă ca circulaţia autovehiculelor să fie separată cât mai vizibil de celelalte feluri de circulaţie (pietoni, ciclişti, transport în comun etc.). Din acest motiv şi din necesităţile de asigurare a colectării şi evacuării apelor de suprafaţă, străzile se amenajează cu borduri ridicate la marginile părţii carosabile, borduri care separă, de regulă, cele două zone. Prin acest sistem, apele de suprafaţă sunt colectate prin rigole formate de borduri şi partea carosabilă (deci rigola la străzi intră în lăţimea părţii carosabile) şi sunt evacuate prin intermediul gurilor de scurgere, amplasate la marginile părţii carosabile, în canalul pentru colectarea apelor pluviale şi menajere situat sub structura rutieră, de regulă, în axa străzii.

Transportul în comun trebuie să fie, pe cât posibil, separat clar de circulaţia celorlalte autovehicule, prin realizarea unor benzi de circulaţie pe platforme speciale destinate numai acestor vehicule.

Circulaţia bicicletelor se recomandă să fie separată şi condusă pe piste speciale. Când nu este posibil acest lucru din lipsă de spaţiu, atunci benzile de circulaţie trebuie să aibă lăţimi mai mari.

Circulaţia pietonilor va fi separată de celelalte tipuri de circulaţie prin amenajarea de trotuare. Acestea se recomandă să fie separate de partea carosabilă prin zone verzi şi plantaţii, respectiv de clădiri printr-un spaţiu verde. În acest mod se diminuează zgomotul, vibraţiile şi poluarea cu gaze de eşapament pentru locuitorii clădirilor din zona străzii şi se contribuie la realizarea rolului estetic al străzii.

În general, se va milita pentru separarea cât mai evidentă a categoriilor de

participanți la circulația în oraș, în funcție de caracteristicile acestora (în mod deosebit după viteză).

11.3.2. Elementele profilului transversal al străzilor

Numărul benzilor de circulație în profil transversal se stabilește în funcție de intensitatea circulației de perspectivă și de capacitatea de circulație a unei benzi. Lățimea unei benzi este de 3,50 m, putând ajunge la 3,75 m. Pe verticală, din necesități de asigurare a gabaritului de liberă trecere, înălțimea liberă va fi de 4,50 m, cu posibilități de mărire din condițiile impuse de transportul în comun (tramvai, troleibuz).

În ceea ce privește transportul în comun, vehiculele pe pneuri pot circula pe aceleași benzi de circulație cu celelalte autovehicule, caz în care lățimea unei benzi de circulație este de 3,75 m. Circulația tramvaielor se va efectua pe platforme speciale.

În conformitate cu clasificarea străzilor de la pct. 11.3.1, se disting, în principal, următoarele tipuri de profiluri transversale:

- pentru străzile de categoria I, partea carosabilă are lățimea de 21,00 m, mărginită de zone verzi cu lățimea de 1,00 m și de trotuare a căror lățime este de 4,00 m, lățimea platformei fiind de 31,00 m. Străzile magistrale pot fi fără linii de tramvai (fig. 11.21) sau cu linii de tramvai în zona centrală a profilului transversal (fig. 11.22);

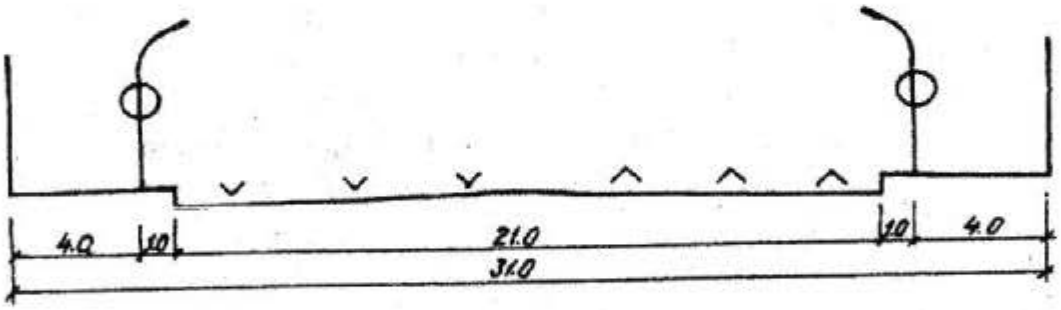


Fig. 11.21. Străzi de categoria I, fără linii de tramvai.

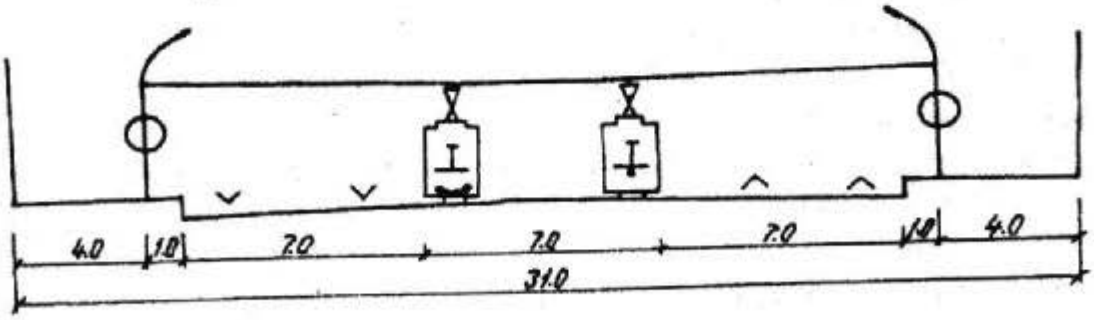


Fig. 11.22. Străzi de categoria I, cu linii de tramvai.

- pentru străzile de categoria a II-a, profilul transversal este asemănător cu cel prezentat în fig. 11.21 și 11.22, numai că dispare o bandă de circulație pe sens. În acest caz partea carosabilă are 14,00 m, fiind mărginită lateral de zone verzi cu lățimea de 1,00

m şi de trotuare cu lăţimea de 4,00 m. Între zona verde şi trotuare sunt intercalate piste pentru ciclişti cu lăţimea de 1,50 m. Pentru această categorie de străzi liniile de tramvai pot fi amplasate şi la marginea părţii carosabile (fig. 11.23);

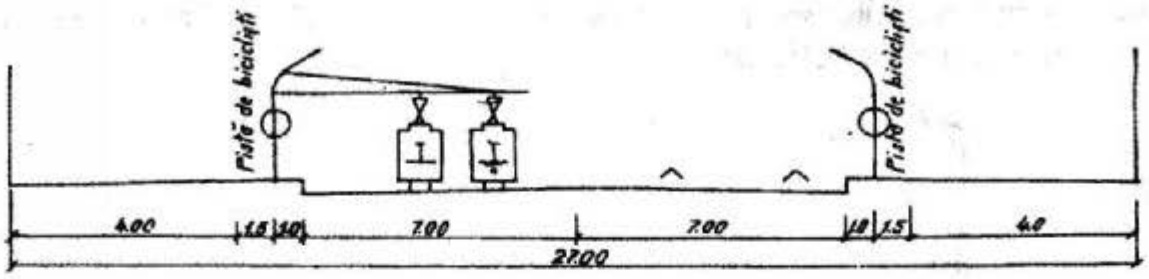


Fig. 11.23. Străzi de categoria a II-a, cu linii de tramvai la marginea părţii carosabile.

- pentru străzile din categoria a III-a, profilul transversal poate avea una din configuraţiile prezentate în fig. 11.24;

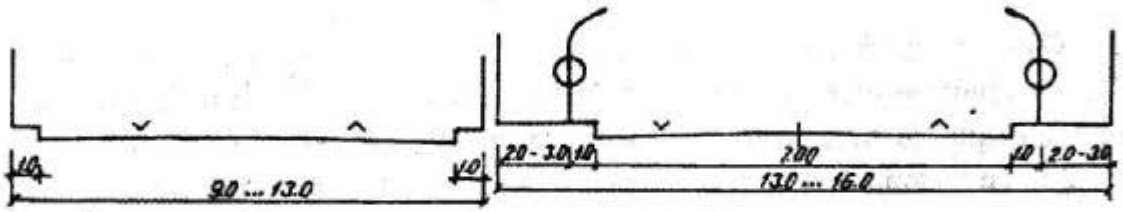


Fig. 11.24. Străzi de categoria a III-a.

- pentru străzile din categoria a IV-a, partea carosabilă are 3,00 sau 4,00 m, iar profilul transversal este de tipul celor prezentate în fig. 11.25.

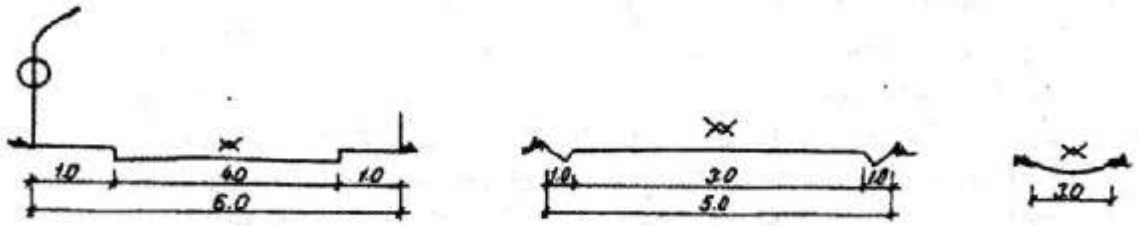


Fig. 11.25. Străzi de categoria a IV-a.

Sectoarele de străzi din categoriile I, II şi III care pe lungimi de până la 30 % din traseu sunt realizate în rambleu, sau în debleu cu înălţimea H = 1,00...4,00 m vor avea profilul transversal neschimbat, iar lăţimea platformei rezultă prin majorarea distanţei dintre limitele exterioare ale trotuarelor cu câte 0,50 m pentru fiecare acostament. În caz contrar, precum şi dacă H > 4,00 m, străzile vor avea platforma cu lăţime redusă, prin suprimarea zonelor verzi laterale părţii carosabile şi prin limitarea trotuarelor la max. 2,25 m lăţime, acostamentele fiind prelungite cu 0,50 m după fiecare trotuar.

Profilul transversal al străzilor situate în rambleu sau debleu se va amenaja în funcție de pantele terenului și de amplasarea construcțiilor, cu rigole la limita taluzurilor și cu accese la construcții (fig. 11.26).

Amplasarea stâlpilor de iluminat și a pomilor pe străzile în rambleu sau în debleu, cu trotuare adiacente părții carosabile, se face pe taluzuri, la distanța de 1,00...1,50 m de muchia platformei.

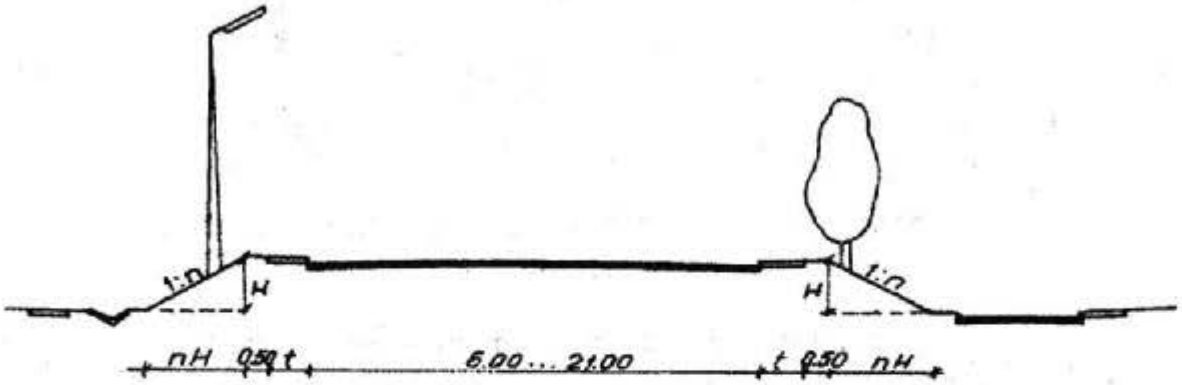


Fig. 11.26. Profil transversal de stradă în rambleu.

Când soluția de transport în comun stabilită pe baza unui studiu comparativ și de eficiență tehnico-economică prevede introducerea tramvaiului, liniile de tramvai se vor integra, de regulă, în zona centrală a părții carosabile a străzilor de categoriile I sau II (fig. 11.22), iar la străzile de categoria a II-a se pot amplasa și lateral (fig. 11.23). Stațiile de tramvai se vor amenaja cu refugii pentru pietoni de cel puțin 1,50 m lățime, iar lățimea străzii în dreptul stației și amenajarea platformei se vor modifica în mod corespunzător.

Profilul străzilor cu liniile de tramvai amplasate pe platforme separate de partea carosabilă se va realiza numai în cazurile în care intensitatea traficului, configurația terenului, circulația sau alte împrejurări determină necesitatea unei astfel de tratări și numai după obținerea aprobărilor legale privind executarea lucrării.

În general, în interiorul localităților rurale, profilurile transversale ale arterelor de circulație locală sau cele care se suprapun peste drumuri naționale sau județene vor avea dispozitivele de colectare și evacuare a apelor de suprafață (rigole sau șanțuri) situate la marginea platformei (ca și la drumurile publice). Artere de circulație locală (exclusiv cele care se suprapun peste drumuri naționale sau județene) se clasifică în străzi principale (fig. 11.27.a) sau străzi secundare (fig. 11.27.b).

În ambele situații, trotuarele cu lățimea de 1,00 m se vor situa adiacent rigolelor cu lățimea de 1,00 m, iar partea carosabilă nu va fi delimitată prin borduri ridicate.

11.3.3. Piste pentru cicliști

Pistele pentru cicliști se proiectează și se execută pe baza studiilor de circulație (recensământuri și anchete de circulație). Pistele pentru cicliști se justifică dacă intensitatea traficului este de min. 2 000 autovehicule/zi, la care se adaugă min. 1 000 cicliști/zi într-un sens sau min. 400 cicliști/sens în ora de vârf.

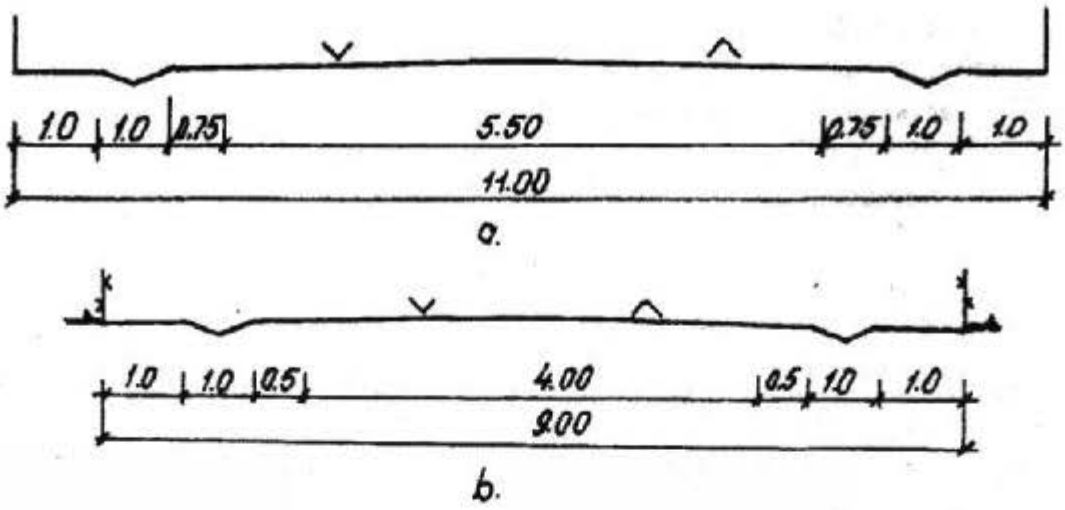


Fig. 11.27. Străzi în localităţi rurale.

Traseul în plan al pistei de ciclişti se realizează pe cât posibil, paralel cu axa străzii (drumului). Între pistă şi partea carosabilă se asigură un spaţiu de siguranţă de min. 1,50 m lăţime. Lăţimea pistelor pentru ciclişti va fi de 1,00 m pentru o bandă şi un sens, 1,50 m pentru două benzi şi un sens şi 2,00 pentru ambele sensuri. Se recomandă ca pista pentru ciclişti să fie separată de trotuar printr-un spaţiu liber de 1,00...2,00 m (fig. 11.28). De asemenea este acceptată soluţia fără spaţul liber între pistă şi trotuar. Amplasarea pistelor pentru ciclişti se face pe o singură parte a străzii (fig. 11.28) sau pe ambele părţi (fig. 11.23).

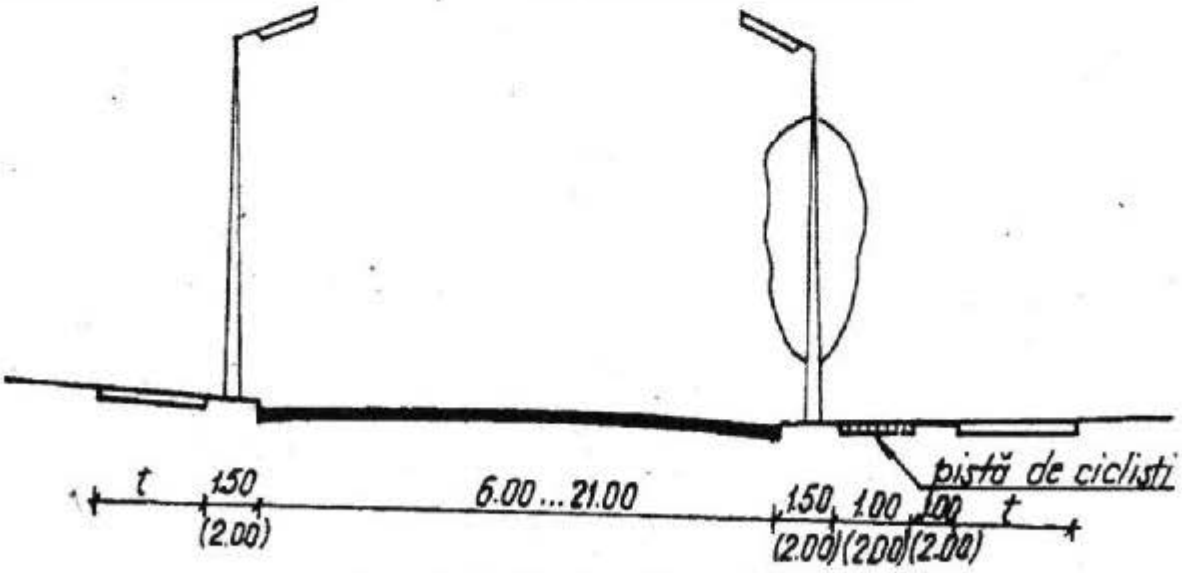


Fig. 11.28. Pistă pentru ciclişti.

În profil longitudinal, declivitatea pistei pentru ciclişti urmăreşte declivitatea părţii carosabile a străzii (drumului). În terenuri accidentate, pistele pentru ciclişti se vor

amplasa astfel încât să se reducă pe cât posibil volumele de lucrări şi suprafaţa de teren ocupată, fără a se depăşi declivitatea de 4 %.

În anumite cazuri, justificate tehnic şi economic, declivitatea poate atinge valori de max. 7 %, dar pe lungimi reduse (max. 75 m).

Pistele pentru ciclişti se prevăd cu o pantă transversală unică de 2,5...3,0 %, funcţie de tipul îmbrăcămintei rutiere. Înălţimea gabaritului de liberă trecere trebuie să fie de 2,40 m.

11.4. Profilul transversal al căilor ferate

Elementele profilului transversal pentru o cale ferată normală simplă sunt prezentate în fig. 11.29.

Platforma căii ferate este partea din terasament pe care reazemă prisma căii. Lăţimea platformei (B) în funcţie de viteza maximă de circulaţie, trafic şi raza curbei, pentru ecartament normal (1 435 mm) este dată în tabelul 11.2.

Distanţa "a" reprezintă jumătate din lăţimea platformei în aliniament iar în curbe, distanţa de la axa căii ferate până la marginea platformei din interiorul curbei (pentru curbe cu raza R < 5 000 m). Mărimea b reprezintă distanţa de la axa căii la marginea platformei din exteriorul unei curbe cu raza R < 5 000 m (b > a, datorită suprainălţării căii în curbă), (vezi pentru o linie dublă fig. 11.30).

Tabelul 11.2.

Felul căii ferate	Traficul, în tone brute pe an	Viteza maximă, în km/h	Forma traseului liniei	Raza curbelor, în m	Dimensiunile platformei, în m		
					a	b	B
Simplă	> 2 mil.	< 100	Curbă	< 500	3,10	3,60	6,70
		100...120	Curbă	500...799	3,10	3,60	6,70
		130...160	Curbă	800...1 999	3,10	3,50	6,60
			Curbă	2 000...4 999	3,10	3,30	6,40
			Aliniament sau curbă	≥ 5 000	3,10	3,10	6,20
	≤ 2 mil.	≤ 100	Curbă	< 800	3,00	3,40	6,40
			Curbă	800...4 999	3,00	3,20	6,20
			Aliniament sau curbă	≥ 5 000	3,00	3,00	6,00
Dublă	> 2 mil.	≤ 16033	La calea ferată dublă valorile a şi b sunt cele de la calea ferată simplă cu trafic mai mare de 2 mil.t.br./an, în aceleaşi condiţii de formă a traseului şi de mărime a razelor curbelor. Între mărimile a şi b se interpune distanţa D, lăţimea platformei fiind dată de relaţia B = a + b + D				

Distanța **D** (vezi fig. 11.30) dintre axele liniilor duble trebuie să fie în cazuri normale, în linie curentă, ≤ 4,20 m. Această distanță poate fi sporită în condiții justificate ca: poduri, curbe, bretele și diagonale, viteze peste 160 km/h etc. Pe linii curente duble sau multiple care au distanța dintre axele lor mai mare de 4,20 m se execută prisme ale căii unice.

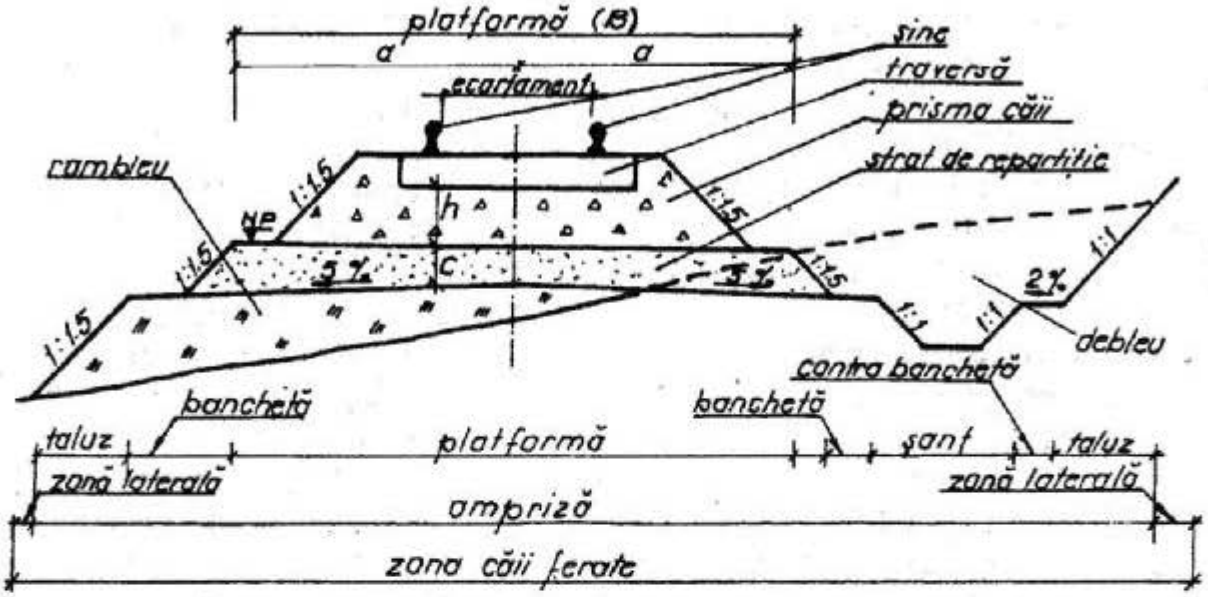


Fig. 11.29. Profil transversal de cale ferată simplă.

Stratul de repartiție are grosimea minimă după compactare de 15 cm. În aliniament, această grosime se măsoară în dreptul șinelor, iar în curbe, la liniile simple, în dreptul șinei interioare. La liniile duble, grosime minimă se măsoară în dreptul șinei interioare cea mai apropiată de axa platformei (fig. 11.30).

Fața superioară a terasamentelor din pământ se execută în mod obișnuit sub formă de acoperiș cu pante de 5 %. Stratul de repartiție se execută din nisip sau pietriș ciuruit.

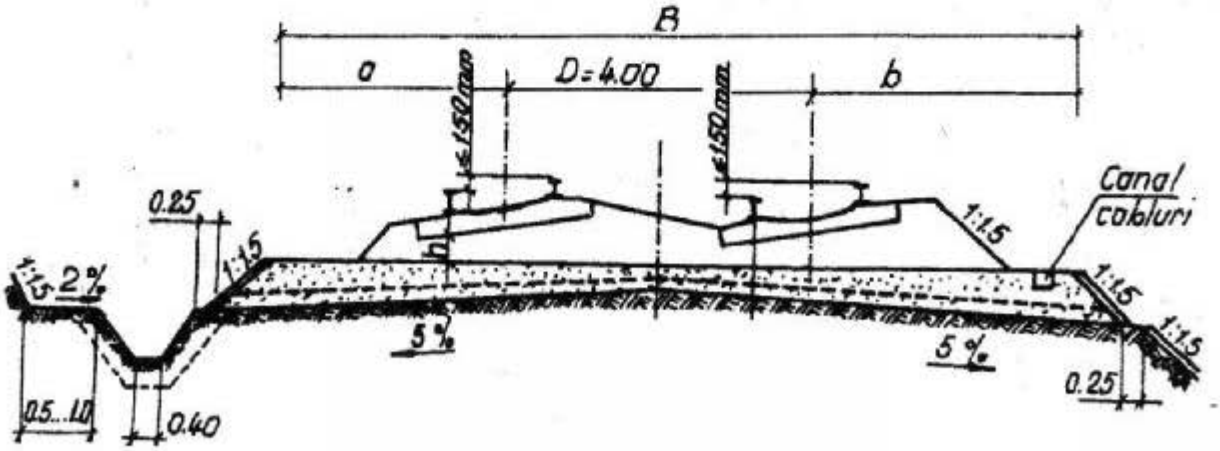


Fig. 11.30. Profil transversal de cale ferată dublă (în curbă).

Taluzurile sunt caracterizate prin panta acestora (i_r - pentru rambleu şi i_d - pentru debleu). Taluzurile de rambleu cu înălţimea maximă H = 6,00 m, au în cazul pământurilor obişnuite (argile prăfoase sau nisipoase, nisipuri de toate felurile şi prafuri) şi în cazul pietrişului cu nisip, o înclinare de 1:1,5.

Anrocamentele din blocuri cu dimensiunea maximă de 25 cm şi înălţimi de până la 10 m se pot prevedea cu aceeaşi pantă, iar cele din blocuri mai mari şi înălţimea de până la 12 m se admit cu înclinarea de 1:1.

Taluzurile de debleu în cazul argilelor prăfoase sau nisipoase pentru înălţimi de până la 6,00 m vor avea panta de 1:1...1:1,5. Celelalte pământuri obişnuite vor avea panta de 1:1,5, pentru înălţimi ale debleului de max. 6,00 m. Pentru roci compacte şi stabile, cu înălţimi de până la 12,00 m panta taluzului de debleu poate fi de 1:0,20...1:0,33, iar pentru roci alterate sau alterabile de 1:0,5...1:1.

Pentru înălţimi mai mari decât cele menţionate anterior este obligatorie executarea de **berme** cu lăţimea de min. 2,00 m şi panta minimă de 5 % în direcţia scurgerii apelor. Diferenţa de nivel dintre platformă şi prima bermă sau între două berme succesive nu trebuie să depăşească valorile menţionate anterior.

Treptele de înfrăţire la calea ferată se execută dacă înclinarea terenului natural este de min. 1:10, în scopul evitării apariţiei unei suprafeţe de alunecare în zona de contact cu materialul de aport şi vor avea o lăţime de min. 2,50 m.

Colectarea şi evacuarea apelor de suprafaţă se efectuează cu aceleaşi tipuri de dispozitive ca şi în cazul drumurilor (vezi pct. 11.1). Şanţurile de gardă se vor amplasa la min. 2,00 m de creasta taluzului de debleu şi la min. 1,00 m de piciorul taluzului de rambleu.

De asemenea, noţiunile de **ampriză, zona căii ferate, piciorul taluzului şi creasta taluzului** au aceleaşi semnificaţii ca şi la drumuri.

Bancheta căii reprezintă porţiunea din platforma căii cuprinsă între piciorul taluzului prismei căii şi marginea platformei şi are lăţimea de 0,25 m.

Umărul prismei căii se numeşte distanţa de la partea superioară a prismei căii cuprinsă între capetele traverselor şi muchia prismei.

Elementele de suprastructură (şine, traverse, prisma căii, material mărunt de cale) nu vor fi tratate în această lucrare. Se reţine aici că prisma căii, care este partea suprastructurii în care se înglobează traversele, se realizează frecvent din piatră spartă. Lăţimea la partea ei superioară este, pentru linii normale simple, de 2,90...3,30 m, iar grosimea minimă **h** sub traverse (vezi fig. 11.29 şi 11.30) va fi de 0,25 m pentru traverse de lemn şi 0,25...0,30 m pentru traverse din beton (funcţie de trafic).

12. DIMENSIONAREA DISPOZITIVELOR DE COLECTARE ŞI EVACUARE A APELOR

Dimensiunile dispozitivelor de colectare şi evacuare a apelor de suprafaţă (şanţuri şi rigole) sau subterane (drenuri) se determină prin calcule pe baza unor parametrii legaţi de zona de amplasament a căii de comunicaţie terestre, de tipul dispozitivului şi de caracteristicile acestuia.

12.1. Dimensionarea dispozitivelor de colectare şi evacuare a apelor de suprafaţă

Dimensiunile secţiunii şanţurilor sau rigolelor se aleg astfel încât acestea să satisfacă evacuarea întregii cantităţi de apă ce se colectează din precipitaţii în bazinul aferent dispozitivului considerat. Debitul apelor de suprafaţă se stabileşte pe baza debitului maxim provenit din apele din precipitaţii (ploaia de calcul). Ploile de calcul se caracterizează prin durată, intensitate şi frecvenţă.

Durata ploii (t) este timpul, exprimat în minute, de la începerea până la încetarea ploii. După unele recomandări, se poate considera t = 15 minute dacă panta terenului natural este de min. 0,5 % şi t = 25 minute dacă dacă panta terenului natural este mai mică de 0,5 %.

Intensitatea ploii (i) este reprezentată prin grosimea stratului de apă căzută în unitatea de timp:

$$i = \frac{h}{t} \quad [mm/min] \qquad (12.1)$$

în care:
h este grosimea stratului de apă, în mm;
t - timpul ploii de calcul, în min.

Intensitate de calcul (i_c) a unei ploi se calculează şi se exprimă astfel:

$$i_c = i \cdot \frac{10000}{60} = 170i \qquad [L/s \cdot ha] \qquad (12.2)$$

Frecvenţa indică intervalul de timp probabil la care se repetă ploile de aceeaşi durată şi aceeaşi intensitate. Frecvenţa normată indică numărul anual de ploi de durata t considerată a căror intensitate depăşeşte intensitatea de calcul şi pentru care trebuie asigurată evacuarea apelor.

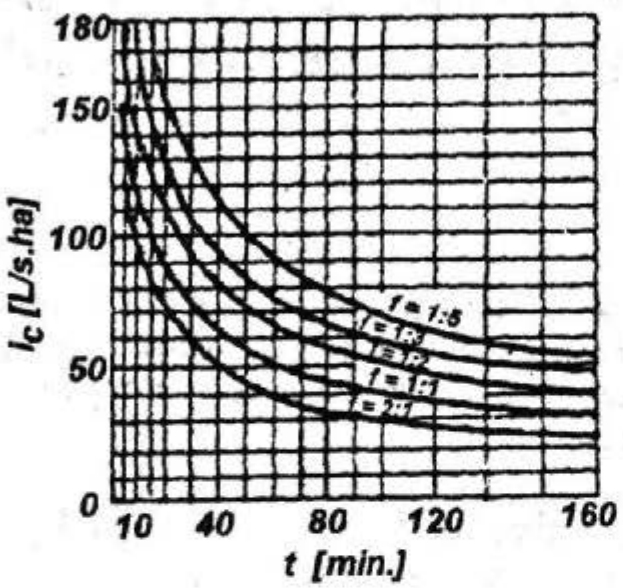


Fig. 12.1. Curbe de intensitate a ploilor de egală frecvenţă.

Gama frecvenţelor normate este: 1:5; 1:3; 1:2; 1:1 şi 2:1. Pentru drumurile publice se poate considera frecvenţa normată de 2:1, respectiv 1:1 pentru drumuri cu platforma la nivelul terenului natural.

În aceste condiţii intensitatea de calcul se poate determina din fig. 12.1.

Debitul de calcul pentru dimensionarea şanţului sau rigolei se stabileşte pe baza unei ploi a cărei durată este egală cu timpul necesar ca apa să parcurgă întregul traseu de la cumpăna bazinului de recepţie până la secţiunea considerată.

Debitul maxim (Q_{max}) se calculează cu relaţia:

$$Q_{max} = m \cdot S \cdot i_c \cdot F \qquad [L/s] \qquad (12.3)$$

în care:

m este un coeficient de reducere ţinând seama de capacitatea de înmagazinare în şanţuri şi canale: se stabileşte în funcţie de durata de curgere t: pentru t < 40 minute, m = 0,8, iar pentru t > 40 minute, m = 0,9;

S - suprafaţa bazinului aferent sectorului de şanţ sau rigolă care se calculează, în ha;

i_c - intensitatea de calcul a ploii, în L/s.ha;

F - coeficient de scurgere.

Coeficientul de scurgere F se exprimă prin raportul:

$$F = \frac{q_s}{q_c} \qquad (12.4)$$

în care:

q_s este cantitatea de apă colectată prin rigole sau şanţuri;

q_c - cantitatea de apă din precipitaţii căzută în bazinul aferent.

În tabelul 12.1 se dau valorile coeficienţilor de scurgere, în funcţie de tipul suprafeţelor care alcătuiesc bazinul de recepţie al şanţului sau rigolei calculate.

În cazul în care în şanţul calculat debuşează şi apa colectată de alte şanţuri, debitul acestuia se va compune din însumarea debitului propriu cu debitele maxime ale celorlalte şanţuri.

Un şanţ de scurgere trebuie să asigure scurgerea debitului maxim calculat. În general, capacitatea de scurgere a şanţului **Q** depinde de forma şi mărimea secţiunii transversale şi de viteza de scurgere a apei şi este dată de relaţia:

$$Q = A \cdot V \qquad [m^3/s] \qquad (12.5)$$

în care:

A este suprafaţa secţiunii şanţului, în m^2;

V - viteza medie de scurgere a apei, în m/s.

Tabelul 12.1.

Tipul suprafeţei	F
Suprafeţe asfaltate	0,85...0,90
Pavaje din piatră rostuită cu mastic bituminos	0,80...0,85
Pavaje din piatră cu rosturi umplute cu nisip	0,60...0,70
Drumuri din piatră spartă (macadam)	0,25...0,30
Drumuri pietruite	0,15...0,30
Terenuri de sport amenajate şi grădini	0,10...0,20
Terenuri agricole	0,05...0,15
Parcuri şi suprafeţe împădurite	0,05...0,10

Viteza de curgere este dată de formula lui Chézy:

$$V = C\sqrt{R \cdot I} \qquad [m/s] \qquad (12.6)$$

în care:

I este panta longitudinală a şanţului;

C - coeficient care ţine seama de rugozitatea pereţilor şanţului;

R - raza hidraulică a secţiunii, în m, dată de relaţia 12.7.

$$R = \frac{A}{P} \qquad [m] \qquad (12.7)$$

în care:

A este aria secţiunii de scurgere, în m^2;

P - perimetrul udat, în m.

Pentru determinarea coeficientului C, se foloseşte formula lui Bazin:

$$C = \frac{87}{1 + \frac{b}{\sqrt{R}}} \qquad (12.8)$$

în care:

R este raza hidraulică, în m;

b - coeficientul de rugozitate al pereţilor şi fundului şanţului, având valorile din tabelul 12.2.

Tabelul 12.2.

Natura pereţilor	b
Beton sclivisit	0,06
Beton nesclivisit	0,16
Zidărie de piatră brută rostuită	0,46
Pământ bine întreţinut	1,30
Pereu de piatră brută rostuită	1,85
Pământ brăzduit, stâncă brută neprelucrată	1,30

Determinarea coeficientului care ţine seama de rugozitatea pereţilor şanţului se poate face şi cu formula lui Pavlovski:

$$C = \frac{1}{n} R^y \qquad (12.9)$$

în care:

n este coeficientul de rugozitate al pereţilor şanţului (tabelul 12.3);

R - raza hidraulică, în m;

y - coeficient stabilit în funcţie de **n** şi **R**, care se determină cu relaţia:

$$y = 2{,}5\sqrt{n} - 0{,}75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0{,}1) - 0{,}13 \qquad (12.10)$$

În cazul în care suprafaţa şanţului are rugozităţi diferite, în calcul se introduce un coeficient de rugozitate echivalent n_e, calculat astfel:

$$n_e = \sum_{i=1}^{k} \frac{n_i \cdot P_i}{P} \qquad (12.11)$$

în care:

P este perimetrul udat total, în m;

P_i - partea din perimetru caracterizată prin rugozitatea n_i, în m.

În calcule se poate considera aproximativ:

- pentru $R \leq 1$ m, $y = 1{,}5\sqrt{n}$;
- pentru $R > 1$ m, $y = 1{,}3\sqrt{n}$.

Tabelul 12.3.

Natura pereților	n
Beton executat în condiții foarte bune	0,012
Beton sau zidărie de piatră	0,013
Plăci din beton	0,017
Plăci din piatră brută, stâncă	0,020
Pământ brăzduit	0,025

Formula lui Pavlovski se aplică cu rezultate foarte bune atât în cazul conductelor cât şi în cazul canalelor deschise, fiind formula cu utilizarea cea mai răspândită.

În urma dimensionării dispozitivului, secțiunea transversală şi panta longitudinală a acestuia trebuie să asigure scurgerea întregului debit calculat, cu o viteză de scurgere mai mică decât viteza la care începe erodarea pământului. În cazul dispozitivelor consolidate, viteza de scurgere trebuie să fie mai mică decât viteza de la care începe degradarea consolidării respective. De asemenea, este necesar ca viteza de scurgere să fie mai mare decât viteza minimă, la care încep să se depună particulele solide existente în apă, care ar putea înfunda şanțul. Experiențele au arătat că particulele argiloase încep să se depună la viteze mai mici de 0,25 m/s, iar cele nisipoase la viteze mai mici de 0,40 m/s.

În situația în care pantele şanțurilor depăşesc valorile maxime admisibile, pentru evitarea eroziunii, acestea se protejează sau se consolidează. Pentru protejarea pereților şanțurilor şi rigolelor se foloseşte pereerea cu piatră brută, beton, dale prefabricate din beton, elemente prefabricate de formă specială etc.

Pereerea (fig. 12.2) constă în căptuşirea fundului şi pereților şanțului şi rigolei cu un pereu uscat din piatră brută sau bolovani rostuit cu mortar de ciment. Protejarea prin pereere se aplică în cazul pantelor longitudinale de 3...6 %.

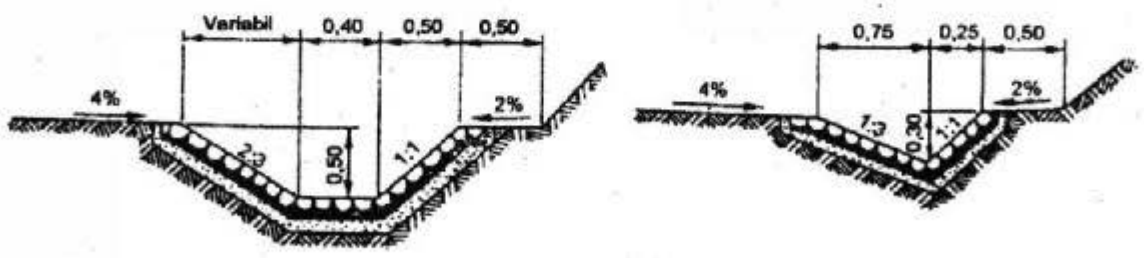


Fig. 12.2. Dispozitive de scurgere protejate.

Valorile pantelor pentru care se aplică alte tipuri de protejări ale pereților dispozitivelor de colectare şi evacuare a apelor de suprafață sunt date prin reglementări specifice acestui gen de lucrări.

12.2. Dimensionarea dispozitivelor de colectare şi evacuare a apelor subterane

Apele care se găsesc şi care se mişcă în straturile de sub nivelul terenului natural se numesc ape subterane, iar stratul de roci în care se află şi circulă apa subterană se numeşte strat acvifer. Cantitatea acestor ape, nivelul lor şi modul lor de repartizare sunt strâns legate de regimul ploilor şi al zăpezilor din regiunea respectivă.

Apele libere din straturile subterane pot fi interceptate şi evacuate, sau nivelul lor poate fi numai coborât, instalaţiile destinate acestor operaţii fiind cunoscute sub denumirea de drenuri. Drenurile trebuie să absoarbă şi să îndepărteze permanent apele care pătrund sau care stagnează în pământ şi a căror prezenţă poate periclita rezistenţa şi stabilitatea terasamentului.

12.2.1. Clasificarea drenurilor

Drenurile se clasifică după mai multe criterii:

a. după poziţia drenului faţă de axa terasamentului:
- drenuri transversale, normale pe axa căii;
- drenuri transversale oblice;
- drenuri longitudinale;

b. după modul de amplasare:
- drenuri de interceptie;
- drenuri de asanare;
- drenuri în spatele zidurilor de sprijin;

c. după sistemul constructiv:
- drenuri orizontale: deschise; închise; rigide; elastice; cu tuburi; cu ecran;
- drenuri verticale;

d. după modul de interceptare a stratului acvifer:
- drenuri perfecte, respectiv drenurile care străbat complet stratul acvifer (fig. 12.3.a);
- drenuri imperfecte, care datorită grosimii mari a stratului acvifer, nu pot coborî până la stratul impermeabil, fundul drenului situându-se în stratul acvifer (fig. 12.3.b).

Rolul unui dren orizontal poate fi jucat de orice sanţ deschis care ajunge la stratul acvifer (drenuri orizontale deschise). Acestea, nu sunt eficiente decât în cazul în care apele subterane au un nivel foarte ridicat. Cu cât nivelul apelor subterane este mai coborât, cu atât adâncimea necesară a şanţurilor de drenaj trebuie să fie mai mare. În această situaţie, se recurge la executarea drenurilor în tranşee închise, caz care va fi prezentat în continuare.

Drenurile vericale se construiesc sub formă de puțuri circulare în care se colectează apa. Foarte rar, evacuarea apei se face prin pompare. De obicei, ea este eliminată prin scurgerea liberă în straturile permeabile situate mai jos de straturile din care s-a colectat. În acest caz, drenurile poartă numele de puțuri absorbante. Ele se execută cu diametrul de 500...600 mm.

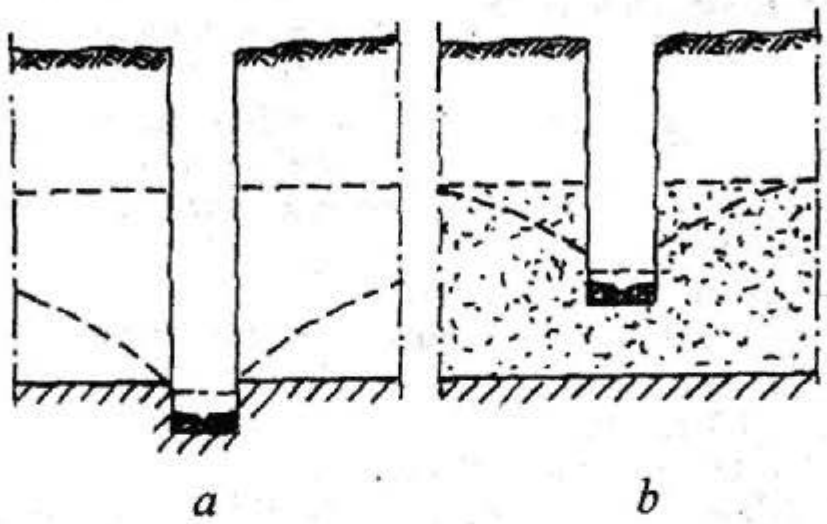


Fig. 12.3. Drenuri.

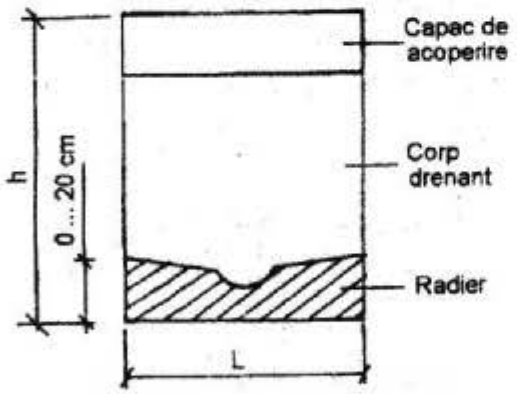


Fig. 12.4. Dren închis.

Un dren închis (fig. 12.4) este alcătuit din următoarele părți principale:

- radier pentru colectarea și evacuarea apelor;
- corp drenant;
- capac de acoperire.

Panta longitudinală a drenurilor are valori cuprinse între 0,2 și 10 %, în funcție de declivitatea căii de comunicație terestre și de rugozitatea pereților dispozitivului de evacuare.

Radierul se execută pe fundul tranșeei săpate sub formă de rigolă (cunetă), prin care se scurg apele. În cazul drenurilor perfecte, radierul se încastrează în stratul impermeabil pe o adâncime de circa 0,3...0,5 m. În cazul drenurilor imperfecte, executarea radierului ar influența negativ pătrunderea apei prin fundul tranșeei. Radierul poate fi rigid, când se execută din beton (fig. 12.5), sau elastic, când este executat din pietriș sau balast. Alegerea radierului se va face astfel:

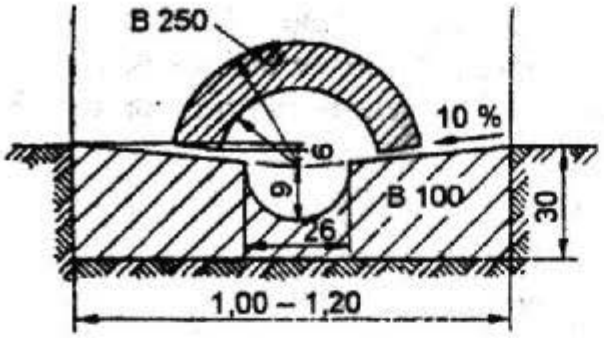


Fig. 12.5. Radier rigid.

- rigid (din beton) - pentru pante longitudinale de 0,2...0,5 %;
- elastic (balast sau pietriş) - pentru pante longitudinale de 0,5...10 %.

Colectarea apelor la radierele din beton se va face prin capace semirotunde din beton (fig. 12.4), prin tub P.V.C. sau polietilenă sau printr-un canal de zidărie uscată.

Colectarea şi evacuarea apelor la radierele elastice se va face numai cu tuburi P.V.C. sau polietilenă.

Corpul drenant poate fi alcătuit din:

- pietriş ciuruit sau piatră spartă de carieră cu filtru din nisip sau geosintetice (fig. 12.6.a);
- balast fără filtru (fig. 12.6.b);
- prefabricat geotextil drenant (fig.12.6.c).

Corpul drenant trebuie să asigure o viteză redusă de scurgere a apelor care să nu antreneze părţile fine care pot contamina şi colmata drenul.

În cazul drenurilor fără filtru textil (fig. 12.6.b), pentru evitarea colmatării corpului drenant cu particulele fine antrenate din teren de către apele care pătrund în dren, între peretele săpăturii şi corpul drenant se execută un **filtru invers**, alcătuit din unul sau mai multe straturi de nisip şi pietriş. Rolul filtrului invers, pe lângă cel de a reţine particulele fine, este de a micşora viteza apei la intrarea acesteia în dren.

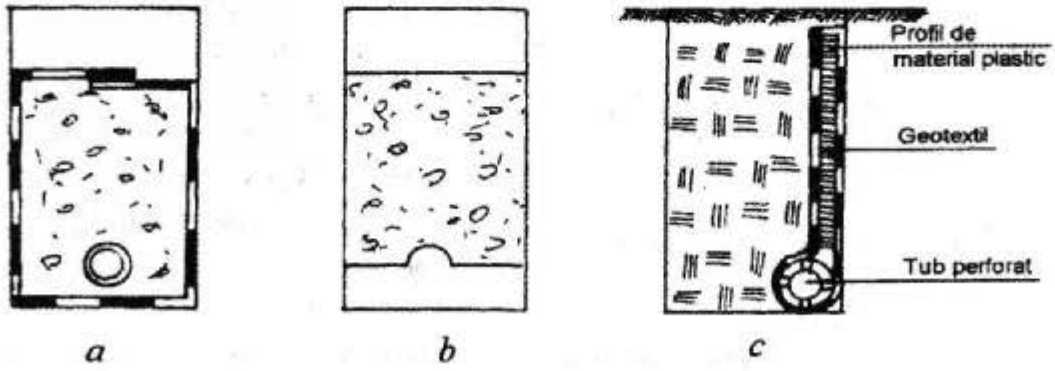


Fig. 12.6. Tipuri de corp drenant.

Atunci când filtrul se execută din mai multe straturi, totdeauna materialul mai fin se aşază spre exterior, iar materialul grosier spre interiorul umpluturii.

Umplutura de închidere a drenului, denumită şi capacul drenului, se poate executa sub diferite forme:

- pereu din piatră brută aşezat pe un strat de beton sau de mortar, sub forma unei cunete, când are rolul de a colecta apele de suprafaţă din zona drenată, sau sub formă de rigolă, când acoperă drenurile longitudinale amplasate la marginea platformei;

- umplutură din argilă bine bătută cu maiul în straturi de 20 cm grosime, acoperită cu un strat de pământ vegetal.

Pentru a se putea controla starea şi modul de funcţionare ale drenurilor precum şi pentru curăţarea periodică de-a lungul lor, la distanţă de 50...70 m unul de altul şi la toate schimbările de direcţie şi de pantă, se construiesc cămine sau puţuri de vizitare. Ele mai pot servi şi la colectarea apelor din mai multe drenuri convergente. Căminele de vizitare se construiesc din cărămidă, piatră, beton, sau din tuburi prefabricate din beton, cu secţiunea circulară sau pătrată şi sunt prevăzute cu scări din oţel. Pentru ca apele de suprafaţă să nu pătrundă în cămine, gura lor se înalţă cu circa 1 m deasupra terenului înconjurător.

12.2.2. Calculul drenurilor

Prezenţa unui dren într-un strat acvifer are ca efect coborârea nivelului apei subterane, după o suprafaţă curbă, care în secţiune transversală reprezintă o parabolă denumită **curbă de depresiune**.

12.2.2.1. Calculul debitului de apă la un dren perfect

În cazul drenurilor perfecte, coborârea nivelului apei subterane (NAS) de la cota sa iniţială **H** la cota apei din dren $\mathbf{h_0}$, depinde de raza de influenţă **R** şi reprezintă distanţa până unde se resimte efectul depresiunii (fig.12.7).

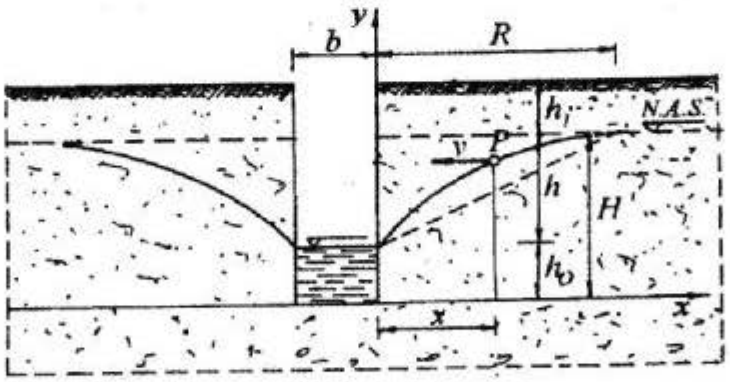


Fig. 12.7. Calculul unui dren perfect.

Valoarea razei de influenţă **R** depinde de valoarea depresiunii apei ($h = H - h_0$) şi de valoarea coeficientului de filtraţie **K** al pământului din stratul acvifer şi poate fi determinată cu formula empirică a lui Sichardt:

$$R = 3000 \cdot h \cdot \sqrt{K} \qquad [m] \qquad (12.12)$$

în care:

h este depresiunea, în m;

K - coeficientul de filtrație, în m/s,

sau cu formula lui Kurakin:

$$R = 575 \cdot h\sqrt{K \cdot H} \qquad [m] \qquad (12.13)$$

Într-un strat acvifer, apa are o mișcare laminară, viteza sa de scurgere **V** fiind dată de legea lui Darcy:

$$V = K \cdot I \qquad [m/s] \qquad (12.14)$$

în care:

V este viteza de scurgere a apei prin teren, în m/s;

K - coeficientul de permeabilitate, în cm/s;

I - gradientul hidraulic (panta piezometrică sau panta medie a curbei de depresiune).

Definit elementar, gradientul hidraulic reprezintă panta hidraulică medie, sau diferența cotelor piezometrice **h** de-a lungul liniei de curent pe distanța **R**.

$$I = \frac{h}{R} = \frac{H - h_0}{R} \qquad (12.15)$$

În tabelul 12.4 se dau valorile coeficientului de filtrație **K** și panta hidraulică medie **I** pentru câteva pământuri.

Tabelul 12.4.

Felul pământului		I, în %	K, în cm/s
Nisip	- mare	0.3...0,6	> 36
	- obișnuit	0,6...2,0	14...36
	- argilos	2.0...5,0	8...14
Argilă	- compactă	5...10	4...8
	- nisipoasă	10...14	1...4
	- obișnuită	14...20	< 1

Debitul de apă pentru un metru liniar de dren (q) provenit dintr-o singură parte a acestuia este dat de relația:

$$q = A \cdot V \qquad [m^3/s] \qquad (12.16)$$

în care:

A este suprafața masei de pământ străbătută de curentul de apă ce se scurge spre dren, în m^2;

V - viteza curentului de apă definită prin formula lui Darcy, în m/s.

Într-un punct oarecare P, debitul de apă pe un metru liniar se poate scrie:

$$q = 1 \cdot Y \cdot V \qquad [m^3/s] \qquad (12.17)$$

$$q = K \cdot Y \cdot I = K \cdot Y \cdot \frac{d_y}{d_x} \qquad [m^3/s] \qquad (12.18)$$

Separând variabilele şi integrând, se obţine:

$$q \int d_x = K \int y d_y \quad \text{deci:} \quad q \cdot x = K \cdot \frac{y^2}{2} + C \qquad (12.19)$$

Punând condiţiile de margine ($x = 0 \Rightarrow y = h_0$, respectiv $x = R \Rightarrow y = H$) şi înlocuind, se obţine valoarea constantei **C**, precum şi ecuaţia curbei de depresiune şi valoarea debitului **q**:

$$C = -K \frac{h_0^2}{2} \qquad (12.20)$$

$$Y = \sqrt{\frac{2 \cdot q \cdot x}{K} + h_0^2}\ ; \qquad (12.21)$$

$$q = K \cdot I \frac{H + h_0}{2}\ . \qquad (12.22)$$

Dacă h_0 este mic în comparaţie cu **H** (situaţie des întâlnită), atunci rezultă:

$$q = \frac{1}{2} K \cdot I \cdot H \qquad (12.23)$$

Când apa pătrunde prin ambele părţi laterale ale drenului, valorile calculate cu relaţiile de mai sus se dublează.

Cunoscând debitul captat pe unitatea de lungime a drenului **q**, se poate determina cantitatea totală de apă captată de dren cu ajutorul relaţiei:

$$Q = q \cdot L \qquad [m^3/s] \qquad (12.24)$$

în care:

L este lungimea activă a drenului, în m.

În relaţia de calcul a debitului (1.22) nu se cunoaşte înălţimea de calcul a apei h_0 din dren . Aceasta depinde de caracteristicile pământului şi se poate stabili în felul următor:

- pentru drenuri cu tuburi:

$$h_0 = h_K \qquad [m] \qquad (12.25)$$

în care:

h_K este distanţa de la talpa rigolei până la partea superioară din interiorul tubului;

- pentru drenuri fără tuburi:

$$h_0 = \frac{I}{2 - I} \cdot H \qquad [m] \qquad (12.26)$$

Viteza apei la intrarea în dren, determinată cu relația lui Darcy, este o viteză convențională, fiind raportată la unitatea de suprafață a secțiunii drenului. Viteza reală V_r de mișcare a apei se obține ținând seama de porozitatea activă a pământului:

$$V_r = \frac{V}{n_0} \qquad [m/s] \qquad (12.27)$$

în care:

V este viteza medie a apei, în m/s, determinată cu relația lui Darcy;

n_0 - porozitatea activă a pământului, adică procentul golurilor din pământ după scăderea volumului ocupat de apa peliculară care nu este antrenată prin drenare.

De regulă, $n_0 < 1$, deci viteza reală este mai mare decât cea calculată cu formula lui Darcy.

Pentru a nu fi antrenat materialul drenant din umplutura drenului, viteza maximă efectivă a apei V_{max} nu trebuie să depășească viteza critică de antrenare:

$$V_{max} \leq V_{cr}, \qquad (12.28)$$

deci:

$$V_{max} = \frac{K}{h_0} \qquad [m/s] \qquad (12.29)$$

Însă, pentru că viteza nu este uniformă prin toată masa de pământ, se adoptă un coeficient de siguranță n = 2, astfel încât:

$$V_{max} = \frac{V_{cr}}{2} \qquad [m/s] \qquad (12.30)$$

La un **dren imperfect** debitul de apă care se infiltrează prin pereții laterali și prin fundul drenului, pe un metru liniar de dren, este dat de relația:

$$q = K \cdot I \frac{H + h_0}{2} + K \cdot q_t (H - h_0) \quad [m^3/s] \qquad (12.31)$$

în care:

q_t este debitul apei care pătrunde prin fundul drenului cu apă sub presiune.

Calculul debitului de apă la puțurile absorbante. Debitul de apă care pătrunde în puț prin suprafața laterală a acestuia (fig. 12.8) se determină cu relația:

$$q_p = S \cdot V \qquad [m^3/s] \qquad (12.32)$$

în care:

$$S = 2\pi x \cdot y \text{ respectiv: } V = K \cdot I = K \cdot \frac{d_y}{d_x} \qquad (12.33)$$

deci:

$$q_p = 2 \cdot \pi \cdot K \cdot x \cdot y \cdot \frac{d_y}{d_x} \qquad (12.34)$$

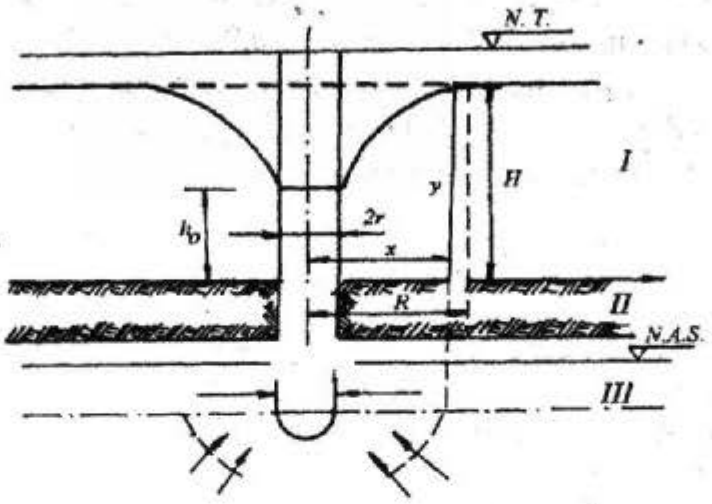


Fig. 12.8. Puțuri absorbante.

Prin separarea variabilelor şi integrare se obține:

$$q_p = \frac{\pi(H^2 - h_0^2)K}{\ln\frac{R}{r}} \qquad [m^3/s] \qquad (12.35)$$

Calculul hidraulic al drenurilor presupune verificarea:

- secțiunii tubului de dren;
- suprafaței orificiilor pentru accesul apei;
- granulozității filtrului invers.

Secțiunea tubului de drenaj se verifică pentru debitul drenului din amonte şi al tronsonului propriu, după relația:

$$Q = Q_a + q \cdot L \qquad [m^3/s] \qquad (12.36)$$

în care:

Q_a este debitul drenului din amonte, în m^3/s;

L - lungimea tronsonului de tub, în m;

q - debitul de apă colectat de dren din tronsonul considerat, pe 1 m lungime de dren, în m^3/s.

Debitul de calcul se ia cu 50 % mai mare:

$$Q_c = 1{,}5\ Q \qquad [m^3/s] \qquad (12.37)$$

După ce se alege secțiunea tubului, aceasta se verifică cu relația:

$$Q_c = A \cdot V \qquad [m^3/s] \qquad (12.38)$$

în care:

A este secțiunea tubului, în m^2;

V - viteza de scurgere, în m/s, determinată cu relația lui Chézy (12.6).

Viteza minimă admisibilă se stabilește în funcție de natura pământului în care se execută drenul (la argile: $V_{a\,min} = 0{,}25$ m/s, iar la nisip: $V_{a\,min} = 0{,}40$ m/s).

Viteza optimă într-un dren este de 0,7...0,8 m/s.

Verificarea suprafeței găurilor prin care pătrunde apa în tub se face astfel încât apa să nu producă antrenarea în tub a materialului de umplutură.

Condiția de neantrenare este dată de:

$$d_g < a \cdot d_\alpha \qquad (12.39)$$

în care:

d_g este diametrul găurii circulare sau dimensiunea minimă a găurii, dacă este ovoidală sau alungită;

d_α - diametrul particulelor din materialul drenant, ce corespund pe curba de granulozitate la 90 % din material;

a - coeficient care ține seama de forma găurilor (a = 3,0...4,5 pentru găuri rotunde; a = 2,0...3,0 pentru găuri alungite).

Suprafața găurilor sau a rosturilor de contact cu apa trebuie să fie:

$$S_t \geq \frac{Q_c}{n \cdot m \cdot V_{ad}} \qquad (12.40)$$

unde:

$$Q_c = n \cdot m \cdot S \cdot V_{ad} \qquad [m^3/s] \qquad (12.41)$$

$$V_{ad} = a\sqrt[3]{K} \qquad [m/s] \qquad (12.42)$$

m este numărul găurilor dintr-un rând pe metru liniar de tub;

n - coeficient de siguranță;

S - suprafața unei găuri, în m^2;

a - coeficient cu valorile 0,0307...0,037 când V_{ad} și K sunt date în m/s.

În cazul în care relația (12.41) nu este îndeplinită, se mărește numărul găurilor sau se modifică dimensiunea.

Verificarea filtrului invers se face cu respectarea condițiilor la contactul dintre două straturi drenante:

- materialul mărunt din zona de contact să nu fie antrenat printre golurile dintre granulele stratului următor;
- materialul fin să nu colmateze stratul cu material mai grosier.

Prima condiție este satisfăcută dacă:

$$D_g < a \cdot D_\alpha \qquad (12.43)$$

în care:

D_g este dimensiunea medie a golurilor din materialul mare la suprafața de contact cu materialul mărunt;

D_α - corespunde la materialul mărunt, în care are aceeași semnificație ca în expresia anterioară, adică d_α.

Dimensiunea medie D_g a golurilor depinde de porozitatea n a materialului mare și se poate determina cu formula:

$$D_g = [0,15 + 1,2\,(n - 26)]d_m \qquad [mm] \qquad (12.44)$$

în care:

n este porozitatea materialului mare;

d_m - diametrul mediu al materialului mare ce se obține din relația:

$$\frac{1}{d_m^3} = \sum \frac{g_i}{d_i^3} \qquad (12.45)$$

unde:

$$\frac{1}{d_i^3} = \frac{1}{2}\left[\frac{1}{d_{max}^3} + \frac{1}{d_{min}^3}\right] \qquad (12.46)$$

g_i reprezintă procente din materialul mare considerate astfel: dacă materialul este de la 1 la 4 cm, g_1 va fi procentul care cuprinde materialul de la 1 la 1,5 cm, g_2 va cuprinde materialul de la 1,5 la 2 cm, g_3 de la 2 la 2,5 cm ș.a.m.d.;

d_{max} și d_{min} - diametrele maxim, respectiv minim, pentru procentul respectiv.

Valoarea D_α se determină pentru materialul mai mărunt și se verifică dacă este îndeplinită condiția (12.43). Pentru determinarea valorilor D_g și D_α sunt necesare curbele granulometrice pentru ambele materiale.

Condiția de neantrenare a particulelor fine este:

$$V_{cont} < V_{ad} \qquad (12.47)$$

în care:

V_{cont} este viteza la contactul dintre două straturi, în m/s;

$$V_{ad} = a\sqrt[3]{k} \qquad [m/s] \qquad (12.48)$$

unde k este coeficientul de filtrație al materialului mărunt.

Viteza la contactul dintre două straturi se obține din relația:

$$V_{cont} = \frac{Q_c}{P_c} \qquad [m/s] \qquad (12.49)$$

în care:

P_c este perimetrul de la contactul dintre cele două materiale, secțiunea fiind dată de suprafața prin care intră apa în dren, în m. P_c trebuie să fie:

$$P_c \geq \frac{Q_c}{a\sqrt[3]{k}} \quad [m] \qquad (12.50)$$

Dacă această condiție nu este satisfăcută, se majorează perimetrul P_c prin sporirea grosimii stratului de material și prin aceasta se micșorează viteza critică. Prin determinarea perimetrului P_c se stabilește grosimea straturilor din filtrul invers.

La contactul dintre stratul de nisip și pământ se fac aceleași verificări ca între două straturi de material din filtru, și anume:

- din granulozitatea nisipului se determină D_g;
- din granulozitatea pământului se determină D_α;
- se verifică îndeplinirea condiției 12.43. Dacă această condiție nu este îndeplinită, se micșorează D_α prin îndepărtarea din nisip a unei cantități de particule cu dimensiuni mari;
- se verifică dacă $V_{cont} < V_{ad}$.

Pentru calculul lui V_{cont} se ia:

- în cazul drenurilor perfecte:

$$P_c = 2h_0 \quad [m] \qquad (12.51)$$

- în cazul drenurilor imperfecte:

$$P_c = 2h_0 + b \quad [m] \qquad (12.52)$$

în care:

h_0 este înălțimea curbei de depresiune la pătrunderea apei în dren, în m;

b - lățimea tranșeei drenului, în m.

Dacă perimetrul este prea mic, respectiv viteza critică prea mare, se ridică tubul de drenaj sau se fac găuri la partea superioară. Se calculează apoi viteza de contact cu relația (12.49) și viteza admisibilă cu relația (12.48).

În cazul în care aceste condiții nu sunt îndeplinite, se produce procesul de sufozie mecanică, antrenându-se în golurile dintre granulele materialului mai mare particulele fine care colmatează stratul cu materialul mai mare, ceea ce face ca drenul să nu mai poată funcționa corespunzător.

Se reține necesitatea alegerii judicioase a materialului pentru umplerea drenurilor, asigurându-se astfel o funcționare cât mai îndelungată a acestora.

13. CALCULUL TERASAMENTELOR

Lucrările de terasamente cuprind totalitatea activităților de realizare a debleurilor şi rambleurilor, inclusiv transportul materialelor necesare acestor obiective. Terasamentele la căile de comunicație terestre au în general o pondere de 15...45 % din ansamblul activităților efectuate, iar calitatea şi volumul lor sunt determinante atât pentru valoarea investiției, cât şi pentru durata execuției, deci cu influențarea directă a costului lucrărilor.

Forma terasamentelor este determinată de tipul lucrării (rambleu sau debleu) şi de calitatea materialelor folosite. În toate cazurile, dimensiunile terasamentelor se stabilesc în funcție de configurația terenului natural şi de elementele geometrice ale căii de comunicație terestre proiectate în plan şi profil longitudinal.

Evaluarea lucrărilor de terasamente se face prin determinarea suprafețelor ocupate de acestea, a volumelor de săpătură şi de umplutură, precum şi a distanțelor de transport. În acest sens, principalele elemente care se determină sunt suprafața amprizei şi a taluzurilor, volumul rambleurilor şi al debleurilor şi mişcarea terasamentelor.

La baza calculelor terasamentelor se află profilurile transversale curente proiectate în toți picheții traseului, iar metodele de calcul folosite pot fi exacte sau expeditive, în funcție de forma terenului şi precizia dorită.

13.1. Calculul suprafeței amprizei şi a taluzurilor

Calculul suprafeței amprizei este necesar pentru evaluarea lucrărilor pregătitoare (curățirea terenului, înlăturarea pământului vegetal etc.) şi pentru determinarea suprafețelor expropriate sau ocupate temporar de şantier.

Calculul suprafeței amprizei se face pe baza determinării lățimii amprizei în fiecare pichet și a distanțelor dintre picheți, variația lățimii amprizei între picheți considerându-se liniară (fig. 13.1).

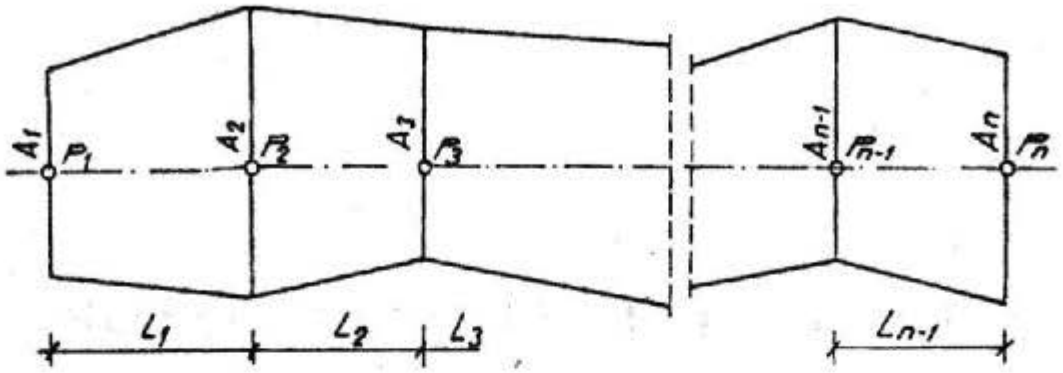


Fig. 13.1. Variația lățimii amprizei între picheți.

Practic calculul suprafeței amprizei se poate face grafic sau analitic.

Metoda grafică constă în măsurarea lățimii amprizei direct pe fiecare profil transversal proiectat. Acest procedeu este caracterizat prin rapiditate și o exactitate suficientă, fiind recomandat în terenuri accidentate, cu frecvente schimbări de pantă în profil longitudinal.

În cazul proiectării profilurilor transversale curente pe calculator, lățimea amprizei se determină în mod automat, funcție de facilitățile oferite de programul de calcul utilizat.

Metoda analitică constă în determinarea lățimii amprizei prin calcule care țin seama de elementele fiecărui profil transversal în parte (fig. 13.2). Pentru aceasta se calculează lățimea amprizei pe semiprofiluri caracteristice (debleu, rambleu, mixt), iar prin însumarea acestora rezultă lățimea totală a amprizei în profilul transversal respectiv.

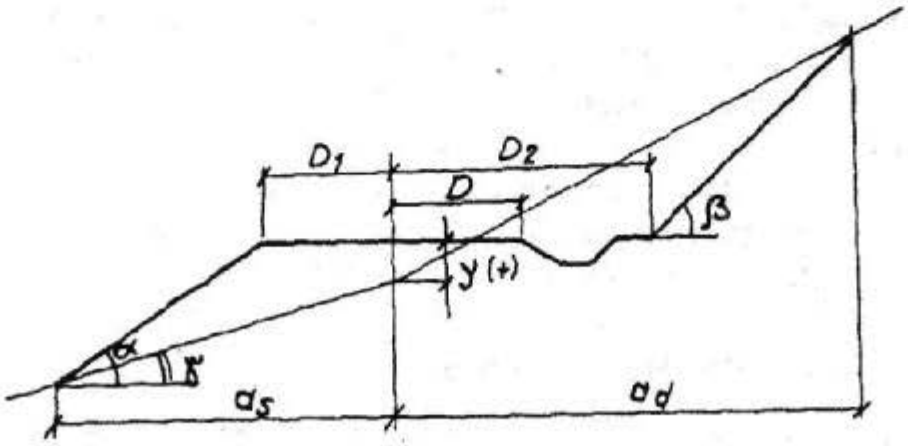


Fig. 13.2. Elementele care definesc profilul transversal.

Pentru calcule se iau în considerare următoarele notaţii (fig. 13.2):

a_s - lăţimea amprizei corespunzătoare semiprofilului din stânga axei căii de comunicaţie terestre;

a_d - lăţimea amprizei corespunzătoare semiprofilului din dreapta axei căii de comunicaţie terestre;

D_1 - distanţa dintre axa căii de comunicaţie şi creasta taluzului de rambleu;

D_2 - distanţa dintre axa căii de comunicaţie terestre şi piciorul taluzului de debleu (D_2 = D + lăţimea şanţului + lăţimea banchetei);

y - cota de execuţie a terasamentului în axă. Pentru calcule, valoarea lui y se consideră pozitivă sau negativă, după cum linia terasamentului se află deasupra sau sub linia terenului natural;

α - unghiul pe care îl face taluzul de rambleu cu orizontala;

β - unghiul pe care îl face taluzul de debleu cu orizontala;

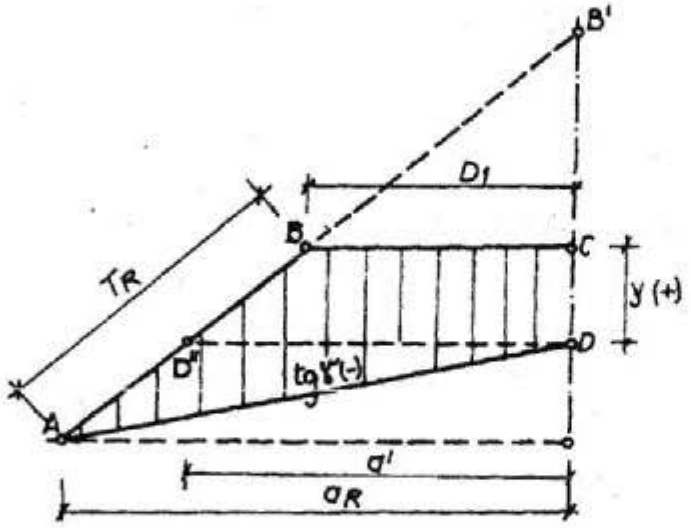


Fig. 13.3. Calculul unui semiprofil de rambleu.

γ - unghiul pe care îl face terenul natural cu orizontala. Tangenta trigono-metrică a unghiului γ se consideră în calcule negativă, dacă terenul coboară în raport cu cota sa din axă, şi pozitivă, dacă terenul urcă în raport cu cota sa din axa căii de comunicaţie terestre.

Calculul unui semiprofil (de exemplu de rambleu, fig. 13.3) se efectuează în modul următor:

$$\overline{B'C} = D_1 \cdot tg\alpha \qquad [m] \qquad (13.1)$$

$$\overline{B'D} = \overline{B'C} + \overline{CD} = D_1 \cdot tg\alpha + y \qquad [m] \qquad (13.2)$$

$$\frac{a'}{a_R} = \frac{\overline{B'D}}{\overline{B'D'}} \Rightarrow \frac{D_1\, tg\alpha + y}{a_R \cdot tg\alpha} = \frac{D_1\, tg\alpha + y}{D_1\, tg\alpha + y + a_R\, tg\gamma} \qquad (13.3)$$

Din egalitatea 13.3, rezultă lăţimea amprizei semiprofilului de rambleu considerat, astfel:

$$a_R = \frac{D_1 \operatorname{tg}\alpha + y}{\operatorname{tg}\alpha - \operatorname{tg}\gamma} \quad [m] \qquad (13.4)$$

Ţinând seama de configuraţia semnelor din fig. 13.4, pentru situaţia considerată relaţia generală de calcul a semiprofilurilor de rambleu este următoarea:

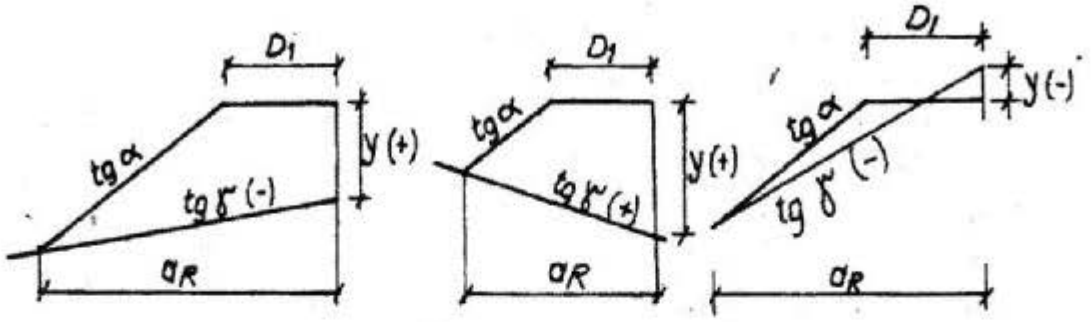


Fig. 13.4. Cazuri specifice de semiprofiluri de rambleu.

$$a_R = \frac{D_1 \operatorname{tg}\alpha + y}{\operatorname{tg}\alpha + \operatorname{tg}\gamma} \quad [m] \qquad (13.5)$$

Pentru semiprofilurile de debleu (fig. 13.5), se ajunge la următoarea relaţie generală de calcul a lăţimii amprizei:

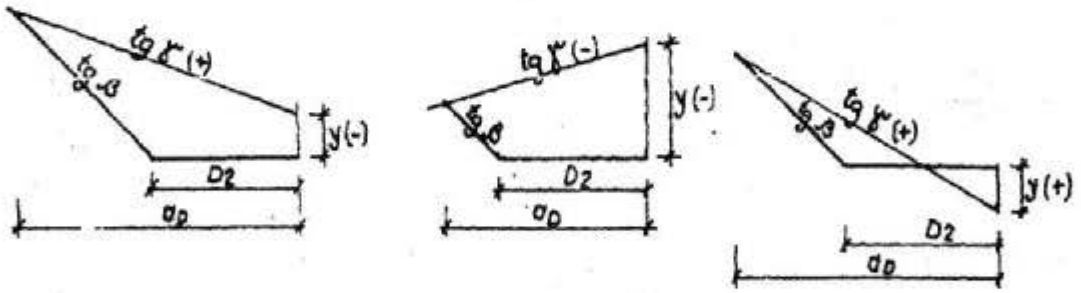


Fig. 13.5. Cazuri specifice de profiluri transversale de debleu.

$$a_D = \frac{D_2 \operatorname{tg}\alpha - y}{\operatorname{tg}\alpha - \operatorname{tg}\gamma} \quad [m] \qquad (13.6)$$

Aplicarea relaţiilor 13.4 şi 13.5 se va face cu luarea în considerare a semnelor parametrilor **y** şi **tg γ** convenite în fig. 13.4 şi 13.5.

Metoda analitică este recomandată în terenuri plane sau cu pante transversale uniforme. Aplicarea ei se poate face pe baza unor programe de calcul concepute pornind de la relaţiile sus-menţionate.

Suprafaţa amprizei se determină prin însumarea suprafeţelor figurilor geometrice dintre profiluri (fig. 13.1), astfel:

$$S_A = \frac{A_1 + A_2}{2} \cdot L_1 + \frac{A_2 + A_3}{2} \cdot L_2 + \cdots + \frac{A_{n-1} + A_n}{2} \cdot L_{n-1} \ [m^2] \quad (13.7)$$

în care:

A_i este lățimea amprizei în pichetul P_i, în m;

L_i - distanța dintre pichetul P_i și pichetul P_{i+1}, în m.

Relația 13.7 mai poate fi aranjată în modul următor:

$$S_A = \frac{L_1}{2} \cdot A_1 + \frac{L_1 + L_2}{2} \cdot A_2 + \cdots + \frac{L_{n-1}}{2} \cdot A_n \quad [m^2] \quad (13.8)$$

Media distanțelor care separă un profil transversal de profilurile vecine, cu care se înmulțește în relația 13.9 lățimea amprizei în profilul respectiv, se numește **distanță aplicabilă**.

În unele situații, pentru evidențierea mai exactă a lucrărilor necesare, determinarea suprafeței amprizei se efectuează separat pentru rambleu, față de debleu.

Determinarea suprafeței taluzurilor se efectuează, de asemenea, pornind de la profilurile transversale curente proiectate și a distanțelor dintre picheți. Lungimea unui anumit taluz se poate determina grafic, prin măsurare pe profilul transversal proiectat la o anumită scară, sau analitic, pe baza unor relații de calcul, respectiv cu utilizarea unor programe de calcul.

Calculul lungimii unui taluz de rambleu (fig. 13.4) se poate face cu relația următoare:

$$T_R = (a_R - D_1) \cdot \sqrt{1 + tg^2 \alpha} \quad [m] \quad (13.9)$$

sau după înlocuirea expresiei 13.5:

$$T_R = \frac{y - D_1 \, tg\gamma}{tg\alpha + tg\,\gamma} \cdot \sqrt{1 + tg^2 \alpha} \quad [m] \quad (13.10)$$

în care semnificațiile simbolurilor sunt identice cu cele menționate anterior.

De asemenea, pentru un taluz de debleu, calculul se poate efectua cu relația:

$$T_D = \frac{D_2 \, tg\gamma - y}{tg\beta - tg\,\gamma} \cdot \sqrt{1 + tg^2 \beta} \quad [m] \quad (13.11)$$

În relațiile 13.10 și 13.11, parametrii **tg γ** și **y** se vor introduce cu semnele convenite în fig. 13.4 și 13.5.

Suprafețele taluzurilor se determină separat pentru rambleuri și debleuri, în mod similar cu calculul suprafeței amprizei, ținând seama de distanța aplicabilă. Rezultă că se aplică tot relația 13.7, în care notațiile A_i se vor înlocui cu T_{Ri}, respectiv T_{Di}.

13.2. Calculul suprafeței profilurilor transversale

Calculul suprafeței profilurilor transversale se efectuează separat pentru rambleuri și debleuri, pornind de la profilurile transversale curente proiectate pentru un anumit sector de cale de comunicație terestră.

În cazul debleurilor, acolo unde săpătura se execută în mai multe tipuri de pământuri, trebuie diferențiată suprafața ocupată de fiecare material în parte pentru a se putea alege tehnologia optimă și a se determina exact costurile lucrărilor. Din aceste motive, în profilurile transversale curente se vor trasa liniile de separație dintre diferitele tipuri de pământuri. De asemenea, săpăturile trebuie diferențiate după modul de execuție (manual sau mecanizat cu buldozerul, autogrederul, excavatorul etc.).

O atenție deosebită în analiza cantităților de lucrări trebuie acordată stratului vegetal care se va înlătura și de pe suprafețele ocupate de rambleuri, iar pământul vegetal rezultat nu va fi folosit la realizarea rambleurilor.

Suprafața dispozitivelor de colectare și evacuare a apelor pluviale poate să nu fie luată în considerare, funcție de metoda de calcul adoptată, deoarece volumul săpăturilor de acest fel se poate determina pe baza ariei secțiunii și a lungimii dispozitivului.

Pentru determinarea suprafeței profilurilor transversale se pot aplica mai multe metode, unele dintre acestea fiind prezentate în continuare.

a. Metoda rațională se poate utiliza cu rezultate bune în terenuri plane sau cu pante transversale uniforme. În aceste situații, pe baza relațiilor de calcul care se deduc după configurația terenului și a profilului transversal, se pot concepe programe de calcul prin care se obține o reducere semnificativă a timpului de proiectare.

Metoda rațională presupune împărțirea suprafețelor de săpătură și de umplutură din profilurile transversale în figuri geometrice simple (triunghiuri, dreptunghiuri, trapeze) pentru care ariile se calculează cu relații cunoscute. Pentru calcule, figurile geometrice se consideră că au bazele definite de diferențele dintre cotele liniei proiectului și cele ale liniei terenului, iar înălțimile egale cu distanța pe orizontală dintre punctele profilului (distanțe parțiale). De exemplu (fig. 13.6):

$$S_1 = \frac{1}{2} d_1 \cdot h_1 = \frac{1}{2} d_1 \cdot \left(C_{1t} - C_{1p}\right) \qquad [m^2] \qquad (13.12)$$

$$S_2 = \frac{h_1 + h_2}{2} \cdot d_2 = \frac{\left(C_{1t} - C_{1p}\right) + \left(C_{2t} - C_{2p}\right)}{2} \cdot d_2 \qquad [m^2] \qquad (13.13)$$

În acest mod se calculează toate suprafețele figurilor geometrice simple, iar în final suprafața de debleu (S_D), respectiv suprafața de rambleu (S_R) rezultă prin însumarea suprafețelor elementare:

$$S_D = \sum_{i=1}^{4} S_i \qquad [m^2] \qquad (13.14)$$

$$S_R = \sum_{j=5}^{7} S_j \qquad [m^2] \qquad (13.15)$$

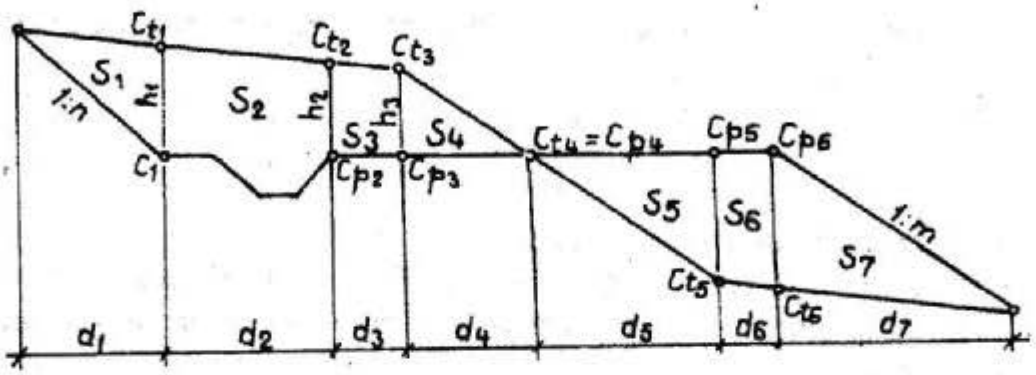


Fig. 13.6. Calculul exact al suprafeței de rambleu și de debleu.

În cazul suprafețelor de teren orizontale, metoda se simplifică foarte mult deoarece suprafețele de săpătură, respectiv de umplutură sunt două trapeze. Un astfel de trapez are bazele egale cu platforma și cu ampriza, iar înălțimea este egală cu diferența dintre cota proiectului și cota terenului în axa căii.

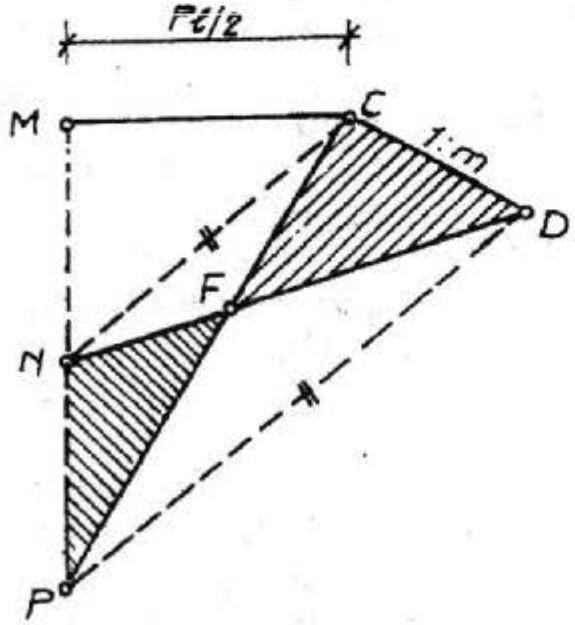


Fig. 13.7. Calculul suprafeței prin metoda triunghiului.

Trebuie reținut faptul că suprafața profilurilor transversale se poate determina cu precizie ridicată cu ajutorul unor programe de calcul, condiția necesară fiind ca profilurile transversale să fie proiectate cu programul respectiv.

b. Metoda triunghiului constă în transformarea suprafețelor diferitelor patrulatere în suprafețe triunghiulare echivalente. Astfel, jumătatea de profil transversal MCDN (fig. 13.7) se transformă în triunghiul echivalent MCP, prin trasarea unei paralele din punctul D la diagonala NC care intersectează axa căii în punctul P.

Cele două suprafețe sunt echivalente deoarece suprafața patrulaterului MNFC este comună, iar suprafața triunghiului NFP este egală cu a triunghiului CFD, deoarece:

- aria triunghiului NFP = aria triunghiului NDP - aria triunghiului PDF;
- aria triunghiului FCD = aria triunghiului CPD - aria triunghiului PDF.

Triunghiurile NDP și CPD sunt egale (baza $\overline{PD}$ comună și înălțimile egale când $\overline{NC}$ este paralelă cu $\overline{PD}$), deci ariile triunghiurilor NFP și FCD sunt egale.

În aceste condiții, aria jumătății de profil transversal se calculează astfel:

$$S_{MBCN} = \frac{1}{2} \cdot \frac{Pl}{2} \cdot h = \frac{Pl \cdot h}{4} \qquad [m^2] \qquad (13.16)$$

în care:

Pl este platforma căii de comunicație terestre, în m;

h - înălțimea triunghiului, care se măsoară pe profilul desenat la scară, în m.

Suprafața întregului profil transversal rezultă prin însumarea suprafețelor celor două jumătăți.

c. Metoda distanțierului sau **metoda țacului** se referă la un procedeu rapid și suficient de exact de calcul a suprafeței terasamentelor și se folosește frecvent în activitatea de proiectare.

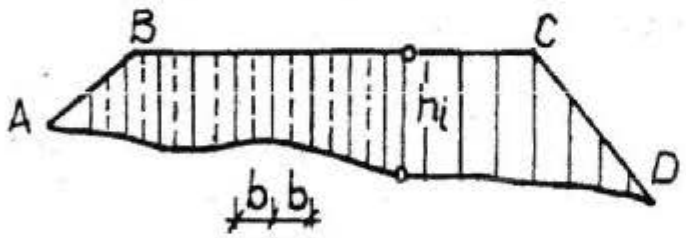


Fig. 13.8. Calculul suprafeței prin metoda distanțierului.

Metoda constă în împărțirea suprafeței profilului transversal în fâșii verticale de lățime constantă b și înălțime variabilă **h** (fig. 13.8). Ținând seama de relația de calcul a ariei la trapez și de faptul că înălțimea h_i este linie mijlocie în trapezul "i", suprafața profilului transversal este dată de relația:

$$S_{ABCD} = b \cdot \sum h_i \qquad [m^2] \qquad (13.17)$$

În cele mai frecvente situații, lățimea constantă se consideră b = 1,00 m (1,00 cm pe profiluri transversale desenate la sc. 1:100), caz în care suprafața profilului transversal rezultă prin însumarea liniilor mijlocii h_i.

Pentru simplificarea măsurătorilor, profilurile transversale se desenează pe hârtie milimetrică, respectiv pe calc, iar calculul la rândul său se poate suprapune pe hârtie milimetrică. Însumarea liniilor mijlocii ale trapezelor cu înălțimea de 1,00 m se poate realiza rapid cu un distanțier (compas).

13.3. Calculul volumelor de terasamente

Calculul volumelor de terasamente se efectuează din aproape în aproape, determinând pe rând volumele cuprinse între două profiluri transversale consecutive. Pentru aceasta se admite ipoteza asimilării volumului de terasamente dintre două profiluri transversale consecutive cu un prismatoid, variația suprafeței între cele două profiluri fiind liniară (fig. 13.9).

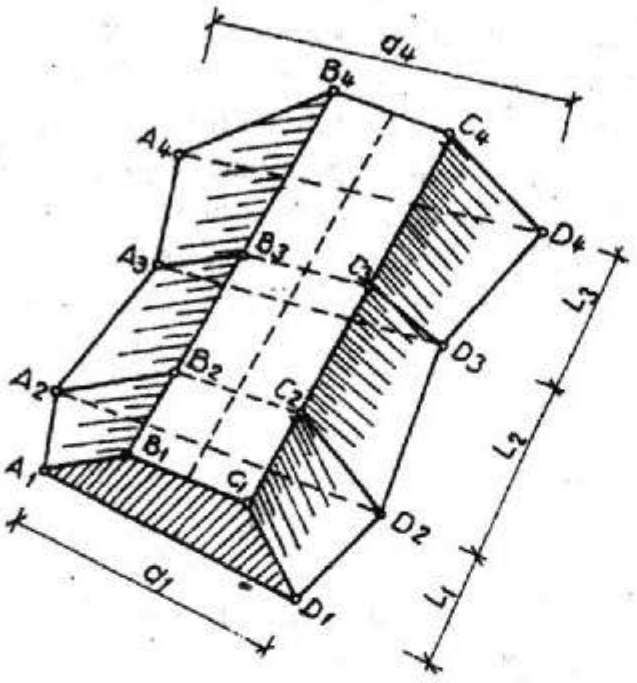


Fig. 13.9. Variația formei terasamentelor.

Calculul volumelor se poate efectua prin metode exacte și prin metode aproximative.

a. Metoda exactă presupune descompunerea solidului cuprins între două profiluri transversale consecutive în corpuri cu volume ușor de calculat, volumul total rezultând prin însumarea volumelor elementare. Această metodă, deși precisă, este foarte laborioasă și nu se utilizează curent în activitatea de proiectare.

b. Metoda distanțelor aplicabile este cea mai folosită din grupa **metodelor aproximative** de calcul al volumului terasamentelor. Modul de aplicarea este identic cu cel folosit în cazul calculului suprafeței amprizei.

Volumul terasamentelor pentru un sector de drum sau cale ferată (V) se determină în aceste condiții cu relația următoare (fig. 13.9):

$$V = \frac{S_1 + S_2}{2} \cdot L_1 + \frac{S_2 + S_3}{2} \cdot L_2 + \cdots + \frac{S_{n-1} + S_n}{2} \cdot L_{n-1} \quad [m^3] \qquad (13.18)$$

sau prin rearanjarea termenilor funcție de distanțele aplicabile:

$$V = \frac{L_1}{2} \cdot S_1 + \frac{L_1 + L_2}{2} \cdot S_2 + \cdots + \frac{L_{n-1}}{2} \cdot S_n \qquad [m^3] \qquad (13.19)$$

în care:

S_1; S_2;...;S_n sunt suprafețele profilurilor transversale curente, separat pentru debleu și pentru rambleu, în m^2;

L_1; L_2;...;L_{n-1} - distanțele dintre profilurile transversale consecutive, în m.

Dacă traseul este în curbă, volumul terasamentelor se poate determina prin:

- metoda exactă, caz în care se aplică regula lui Guldin, care arată că volumul unui corp de rotație este dat de produsul dintre suprafața secțiunii generatoare (medii) și distanța parcursă de centrul ei de greutate;

- metode aproximative, caz în care traseul în curbă se consideră rectiliniu, distanța dintre profilurile transversale extreme considerându-se egală cu lungimea racordării.

O importanță deosebită la calculul terasamentelor trebuie acordată sectoarelor de trecere a profilului transversal din debleu în rambleu și invers. Pentru rezolvarea acestei probleme, se consideră că trecerea de la suprafața profilului transversal de rambleu (S_R), la suprafața profilului transversal de debleu (S_D) din pichetul următor, se realizează printr-o variație liniară pe întreaga distanță (L) dintre cei doi picheți (fig. 13.10). În această situație, profilul transversal la nivelul terenului (de suprafață nulă) va fi situat la distanța **L'**, față de pichetul R, respectiv la distanța **L"**, față de pichetul D, calculate astfel:

$$L' = \frac{S_R}{S_R + S_D} \cdot L \qquad [m] \qquad (13.20)$$

$$L'' = \frac{S_D}{S_R + S_D} \cdot L \qquad [m] \qquad (13.21)$$

Valoarea distanțelor **L'** și **L"** se poate determina și pe cale grafică pe un desen realizat la o anumită scară cu mărimile S_R; S_D și L.

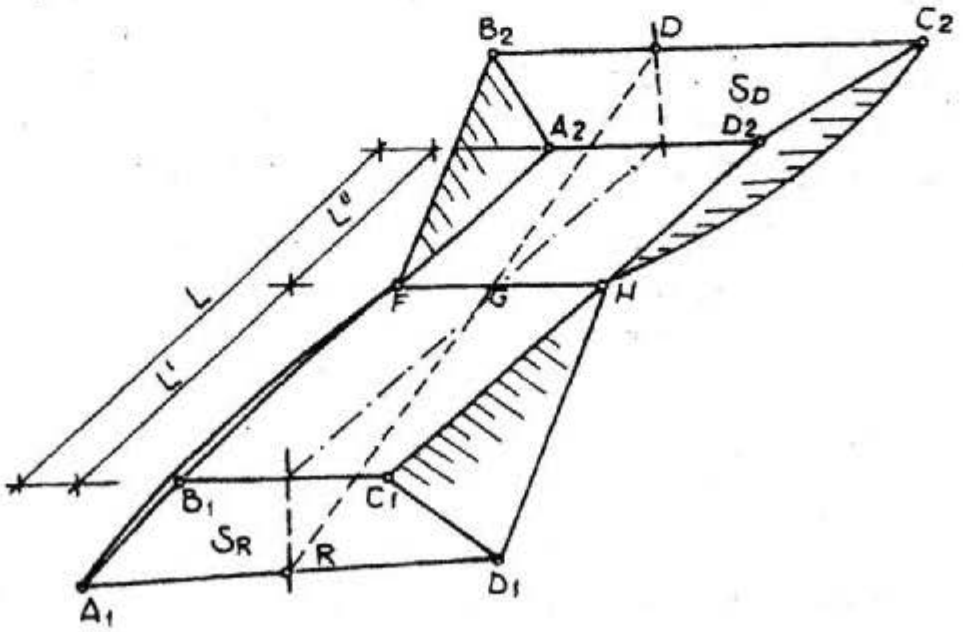


Fig. 13.10. Determinarea amplasării profilului de suprafață nulă.

După determinarea poziției profilului transversal de suprafață zero, volumele terasamentelor se calculează separat pe distanțele L', respectiv L". Determinarea distanțelor aplicabile se va efectua cu luarea în considerare și a profilului transversal nou introdus, numit profil transversal fictiv.

În realitate suprafața terenului este destul de neregulată, motiv pentru care nu se pune problema calculului cu exactitate deosebită a volumelor de terasamente.

13.4. Mișcarea terasamentelor

Pentru sistematizarea calculului terasamentelor, se întocmesc tabele special concepute în care lățimea amprizei, lungimea taluzurilor, suprafața debleurilor și a rambleurilor determinate în fiecare profil transversal se înmulțesc cu distanța aplicabilă corespunzătoare, rezultând în final cantitățile aferente fiecărui pichet.

După determinarea volumului de debleu și de rambleu corespunzătoare fiecărui profil transversal este nevoie să se studieze deplasările posibile ale volumelor de săpătură în scopul compensării nevoilor de umplutură din același profil transversal sau din lungul traseului proiectat. Aceste deplasări de pământ poartă denumirea de **mișcarea terasamentelor**, operația care se realizează fie în tabele, fie cu ajutorul unor epure.

Funcție de tipul profilurilor transversale (rambleu, debleu, mixt) și de succesiunea acestora, mișcarea terasamentelor se poate efectua astfel:

- printr-o deplasare transversală, specifică realizării profilurilor transversale mixte, numită **compensare în același profil** (fig. 13.11);

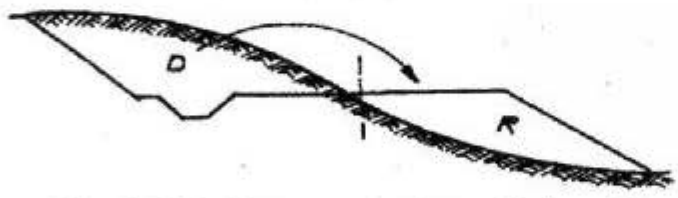


Fig. 13.11. Compensarea în același profil.

- printr-o deplasare longiudinală, specifică realizării rambleurilor cu pământul din debleurile executate în altă parte a traseului și rămas ca surplus după consumarea primei etape, numită **compensare între profiluri**. La studiul compensării între profiluri se va lua în considerare tehnologia de execuție a săpăturii și modul de transport (buldozer, autogreder, excavator + autobasculante etc.), astfel încât la determinarea costurilor să se cunoască cantitățile aferente fiecărei tehnologii.

Studiul mișcării terasamentelor are ca scop determinarea unui transport cât mai judicios și economic, atât ca distanță și loc de transport, cât și ca utilaj folosit.

Funcție de mărimea volumelor de rambleu și de debleu, compensarea terasamentelor poate fi:

- totală, dacă suma volumelor de rambleu (V_R) este egală cu suma volumelor de debleu (V_D);

- cu exces de umplutură, dacă $V_R > V_D$, caz în care necesarul de pământ trebuie adus din camere de împrumut special deschise în acest scop;

- cu exces de săpătură, dacă $V_R < V_D$, caz în care surplusul de pământ trebuie transportat în depozite.

În unele situații pământul rezultat din debleu nu poate fi utilizat, integral sau parțial, în rambleu, deoarece:

- pământul rezultat din debleu este necorespunzător (de exemplu: pământ vegetal) pentru executarea rambleurilor;

- distanțele de transport dintre debleu și rambleu sunt prea mari, rezultând mai eficiente operațiile de transport a pământului săpat în depozite și realizarea rambleului cu pământ din camere de împrumut sau lucrul pe mai multe fronturi ce nu permite așteptarea pământului din debleuri pentru executarea rambleurilor;

- obstacolele nerezolvate din lungul căii (poduri, viaducte, tuneluri etc.) împiedică efectuarea transportului de pământ între săpătură și umplutură.

Rezultă că, studiul mișcării terasamentelor este o operație de proiectare complexă, care trebuie să țină seama de situația locală, de tehnologile și utilajele disponibile, precum și de succesiunea posibilă a activităților pe șantier.

Un alt aspect care trebuie luat în considerare la studiul mișcării terasamentelor se referă la distanțele de transport pe care un anumit utilaj este eficient. Astfel, buldozerele sunt eficiente pentru transportul pământului pe distanțe de 30...50 m, tractoarele cu remorci pe distanțe de cel mult 1 000 m, screperele până la cca 500 m, iar autocamioanele pe distanțe mai mari de 1 000 m.

După determinarea soluției de deplasare a pământului, se calculează **momentul de transport** (M) pentru fiecare mijloc de transport și se stabilește pe fiecare tip de utilaj **distanța medie de transport** (d_m), cu relația următoare:

$$d_m = \frac{\sum_{i=1}^{n} M_i}{\sum_{i=1}^{n} V_i} = \frac{V_1 \cdot d_1 + V_2 \cdot d_2 + \cdots + V_n \cdot d_n}{V_1 + V_2 + \cdots + V_n} \quad [m] \qquad (13.22)$$

în care:

V_i sunt volumele de pământ ce se transportă cu utilajul considerat, în m^3;

d_i - distanțele de transport pentru utilajul considerat, în m.

Din motivele arătate anterior, compensarea terasamentelor și calculul distanței medii de transport se efectuează în mod frecvent pe sectoare de traseu, urmărindu-se găsirea soluției optime pe fiecare tronson în parte.

Studiul mișcării terasamentelor cu ajutorul epurelor (cele mai utilizate fiind Lalanne, Brukner și epura simplă) ia în considerare, de regulă, volumele de pământ rămase după efectuarea compensării în același profil.

14. STUDIUL TRASEULUI

Stabilirea traseului unei căi de comunicaţie terestre este o activitate de mare complexitate, care implică luarea în considerare a numeroşi factori. Principalii factori, deseori contradictorii, care influenţează sau determină alegerea unei anumite variante de traseu sunt cei de natură tehnică (considerente tehnice naturale) şi cei de natură economică (considerente economice).

Analizarea factorilor sus-menţionaţi se efectuează în cadrul mai multor faze de proiectare, care în cadrul proiectelor de drumuri sunt reglementate prin ordinul 784-34/N/1998, completat cu ordinul 553/5367NN/1999 şi cuprind:

- studiul de prefezabilitate;
- studiul de fezabilitate;
- proiectul tehnic;
- detaliile de execuţie.

Pentru fiecare din aceste faze de proiectare sunt menţionate toate elementele (piese scrise şi piese desenate) care trebuie abordate şi clarificate.

În general, studiul unui traseu reclamă parcurgerea a două etape principale.

În cadrul primei etape, specifică studiului de prefezabilitate şi studiului de fezabilitate, se urmăreşte stabilirea variantelor posibile de traseu şi alegerea variantei optime. Pentru aceasta se analizează ansamblul de factori economici, sociali, tehnici, turistici, ecologici, strategici etc. consideraţi. Activităţile din această etapă încep prin consultarea la birou a hărţilor sau a planurilor existente pentru zona geografică respectivă, după care urmează schiţarea pe ele a variantelor posibile de amplasament al căii de comunicaţie terestre. În continuare se identifică şi se trasează prin măsurători sumare pe teren variantele studiate; eventual se studiază noi soluţii de amplasare a traseului. În finalul primei etape, pe baza datelor obţinute, se estimează valoarea fiecărei investiţii şi se determină soluţia cea mai avantajoasă din punct de vedere tehnico-economic.

În etapa a doua, specifică proiectului tehnic şi detaliilor de execuţie, se urmăreşte proiectarea în detaliu a elementelor geometrice ale traseului, astfel încât investiţia şi cheltuielile de exploatare să fie minime. În această etapă, se materializează pe teren în detaliu varianta aleasă şi se continuă în birou, pe planuri elaborate în teren, studiul soluţiei optime de traseu până la definitivarea acesteia.

Factorii tehnico-economici consideraţi la alegerea traseului determină direcţiile ce trebuie urmate, punctele obligate (localităţi, intersecţii cu alte căi de comunicaţie, puncte favorabile de traversare a formelor de relief etc.), zonele ce trebuie evitate (mlaştini, terenuri instabile sau inundabile etc.), modul de racordare la reţeaua de căi de comunicaţie existentă etc.

Liniile care urmăresc punctele obligate consecutive ale traseului formează **linia călăuză**. Ideal este ca traseul proiectat să se îndepărteze cât mai puţin de linia călăuză, deci să fie cât mai scurt.

14.1. Considerente economice

Apariţia unei căi de comunicaţie nouă sau modernizarea unui traseu existent sunt determinate de considerente de ordin economic (dezvoltarea industriei sau agriculturii, servirea unor localităţi, punerea în valoare a unor locuri de agrement sau turistice, dublarea unor căi de comunicaţie suprasolicitate etc.).

Aspectele economice se referă în primul rând la mărimea cheltuielilor de investiţie, de întreţinere şi de exploatare, precum şi la durata de timp în care investiţia sau cheltuielile totale pot fi recuperate. Cheltuielile de execuţie şi de întreţinere sunt afectate de lungimea traseului, de gradul de perfecţionare tehnică a soluţiilor proiectate, de elementele geometrice limită ale traseului, precum şi de condiţiile de relief, climaterice, hidrologice şi geotehnice etc. Durata de timp în care se recuperează investiţia este determinată în primul rând de dinamica traficului şi volumul lui, precum şi de valoarea totală a cheltuielilor efectuate. Din aceste motive, cunoaşterea evoluţiei traficului permite şi o eşalonare judicioasă a planurilor de dezvoltare şi modernizare a reţelelor de căi de comunicţie.

Considerentele economice sunt esenţiale, dar nu trebuie analizate izolat, deoarece, în afară de rolul pur economic, transporturile asigură şi alte facilităţi de ordin social, politic, turistic, strategic etc.

14.2. Considerente tehnice naturale

Condiţiile tehnice naturale sunt hotărâtoare pentru fixarea definitivă a traseului pe teren şi influenţează comportarea în exploatare a căii de comunicaţie.

Considerentele tehnice naturale se referă la relief, condiţii climaterice şi de vegetaţie, precum şi la elemente legate de condiţiile geologice, geotehnice şi hidrologice ale zonei de amplasament a căii de comunicaţie terestre.

14.2.1. Relieful

Relieful, prin caracteristicile sale (altitudine, fragmentare orizontală, densitatea reţelelor hidrografice, declivitatea medie şi maximă etc.) are un rol fundamental în alegerea variantei optime de traseu. El influenţează atât modul de desfăşurare a traseului, cât şi volumul lucrărilor de terasamente, de consolidări şi de lucrări de artă. Funcţie de relief, proiectantul determină principalele caracteristici ale traseului (forma traseului în plan şi profil longitudinal, elementele geometrice, volumul diferitelor lucrări etc.).

După desfăşurarea traseului în raport cu relieful, se întâlnesc trasee de şes, de vale, de coastă, de culme şi transversale văilor şi culmilor.

a. Traseul de şes se desfăşoară în cea mai mare parte a sa pe direcţia liniei călăuză. Abaterea traseului de la linia călăuză se face numai în cazuri speciale, cum sunt:

- asigurarea traversării râurilor şi altor căi de comunicaţie terestre cât mai perpendicular. Traversarea râurilor se face în locuri unde albia este mai îngustă şi mai stabilă, malurile sunt consolidate, iar accesul căii de comunicaţie la pod este posibil în condiţii tehnico-economice corespunzătoare;
- evitarea mlaştinilor, lacurilor, râpelor, suprafeţelor agricole, terenurilor inundabile sau instabile, exproprierile scumpe etc.;
- ocolirea sau traversarea, după caz, a localităţilor, respectiv asigurarea legăturilor cu alte căi de comunicaţie existente;
- evitarea aliniamentelor prea lungi;
- reducerea volumului de terasamente;
- asigurarea unui confort optic corespunzător

Traseul de şes se caracterizează prin aliniamente lungi, curbe cu raze mari, declivităţi mici şi cu puncte de traversare a văilor rare.

b. Traseul de vale este orientat în lungul cursului de apă şi poate fi amplasat astfel:

- în albia majoră a râului (fig. 14.1.a);
- pe o terasă superioară, dacă există astfel de terase (fig. 14.1.b);
- pe versant, mai amonte de terase (fig. 14.1.c).

Primul caz este avantajos în ceea ce priveşte trasarea, deoarece relieful este mai uniform, mai puţin sinuos, valea este de regulă suficient de largă şi cu pantă transversală mică. În schimb, soluţia prezintă dezavantaje legate de traversarea văilor laterale, de consolidarea taluzurilor şi de evitarea zonelor inundabile.

O soluţie mai avantajoasă este cea a traseului pe o terasă superioară, caz în care, dacă aceasta nu este depăşită de nivelul apelor extraordinare, lucrările de artă sunt mai puţin costisitoare şi investiţiile sunt reduse. O atenţie deosebită trebuie acordată terenurilor alunecătoare, mai frecvente în acest caz datorită izvoarelor de pe versant care ies la suprafaţă la baza acestor terase.

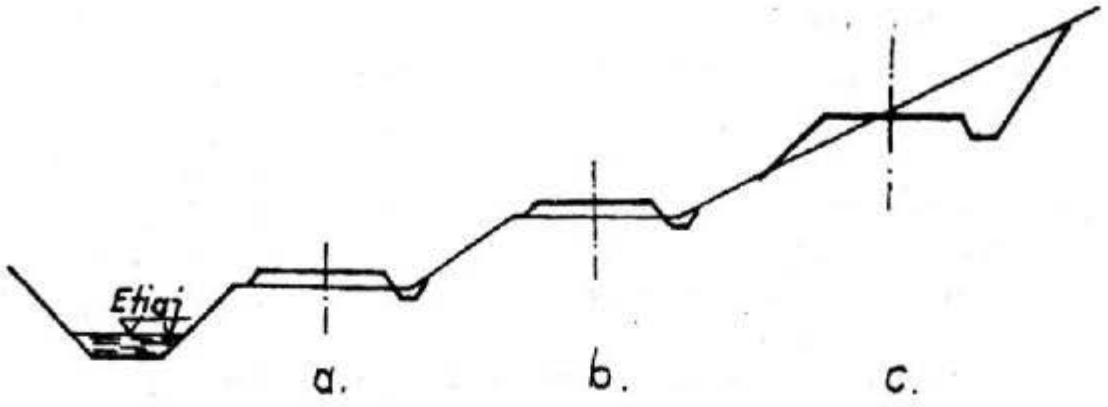


Fig. 14.1. Posibilităţi de amplasare a traseului pe vale.

Traseul pe versant este mai dezavantajos în ceea ce priveşte lucrările de terasamente şi de consolidări necesare, în schimb traversarea văilor laterale este mai avantajoasă.

Traseul de vale se poate dezvolta pe un singur mal al văii sau pe ambele maluri, funcţie de avantajele pe care cele două variante le oferă. În astfel de situaţii trebuie luate în considerare aspectele legate de zonele de traversare a văii de pe un mal pe altul (poziţia punctelor de capăt, zonele necorespunzătoare, corecţia cursului, lucrările de consolidare, numărul afluenţilor traversaţi etc.).

În general, un traseu de vale oferă următoarele avantaje:

- declivităţi mici în profil longitudinal şi aproximativ constante;
- calea de comunicaţie leagă localităţi, deoarece majoritatea centrelor populate sunt situate în văile râurilor;
- se pot folosi pentru construcţie materiale locale ieftine (nisip, balast, pietriş şi se pot deschide cariere).

Dintre dezavantajele traseelor de vale se reţin următoarele:

- sinuozitatea văii implică şi o frângere frecventă a traseului în plan (multe racordări);
- traversarea afluenţilor se face aproape de vărsare, deci pe lăţimi mari;
- lucrările de terasamente trebuie să conţină lucrări prin care linia roşie să se situeze cu 0,50... 1,00 m peste nivelul apelor extraordinare (fig. 14.2).

Trebuie reţinut faptul că traseele de vale sunt cele mai frecvente în cazul drumurilor şi căilor ferate.

c. **Traseul de culme** (fig. 14.3) se dezvoltă pe linia sau aproape de linia de cumpănă a apelor din precipitaţii (culmea geomorfologică), trecând în mod obligatoriu prin şei şi ocolind vârfurile mai pronunţate. Ele se caracterizează prin aliniamente lungi şi curbe largi, vizibilitate şi expunere la soare bune, declivităţi reduse (pe sectoarele care se desfăşoară pe platouri sau câmpuri) şi prin dese schimbări de rampe şi pante (pe porţiunile care ocolesc vârfurile).

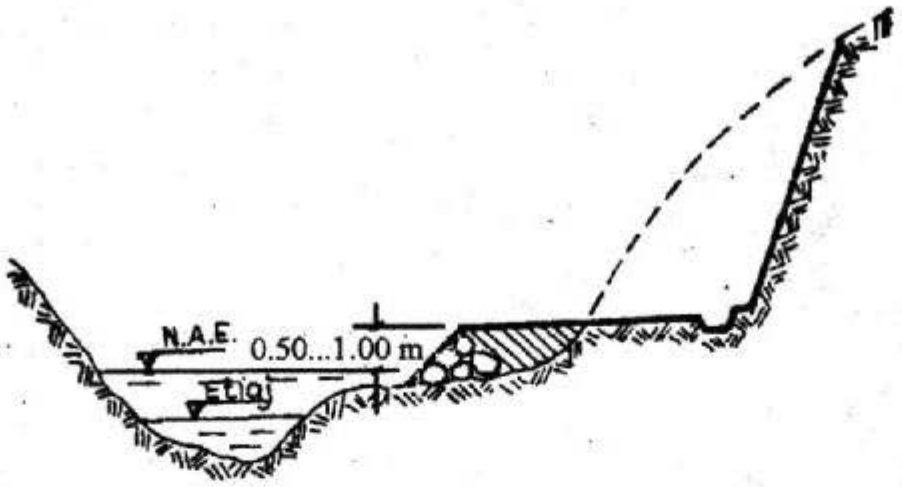


Fig. 14.2. Amplasarea traseului în raport cu nivelul apelor extraordinare.

Dezavantajele acestor trasee sunt legate de faptul că nu servesc multe localităţi şi de faptul că sunt expuse unor condiţii climaterice defavorabile (înzăpeziri, precipitaţii abundente, fenomenul de îngheţ-dezgheţ etc.).

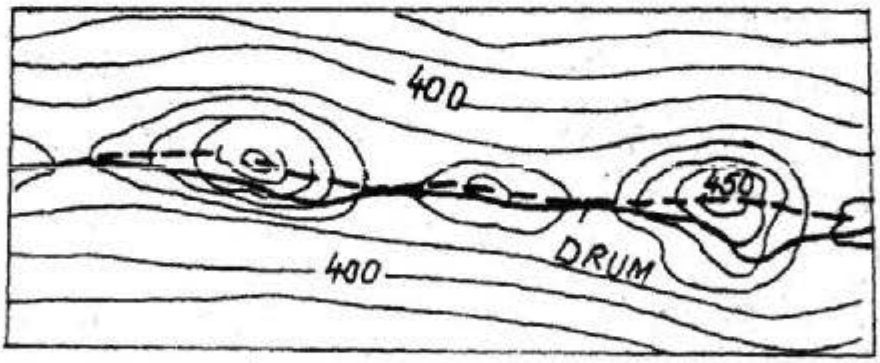


Fig. 14.3. Desfăşurarea unui traseu de culme.

d. Traseul de coastă leagă două sau mai multe puncte situate pe acelaşi versant şi se poate realiza în două moduri, şi anume:

- printr-un traseu apropiat de linia călăuză cu abateri mici necesare evitării unor obstacole locale, dacă declivitatea liniei călăuză dintre cele două puncte considerate este mai mică decât declivitatea admisă (fig. 14.4.a);
- printr-un traseu care se desfăşoară normal pe unele sectoare şi este lungit artificial prin serpentine pe altele, dacă declivitatea liniei călăuză dintre cele două puncte considerate este mai mare decât declivitatea admisă (fig. 14.4.b şi 14.4.c).

Găsirea soluţiei optime în astfel de situaţii se efectuează numai după studierea mai multor variante posibile de traseu şi compararea acestora între ele.

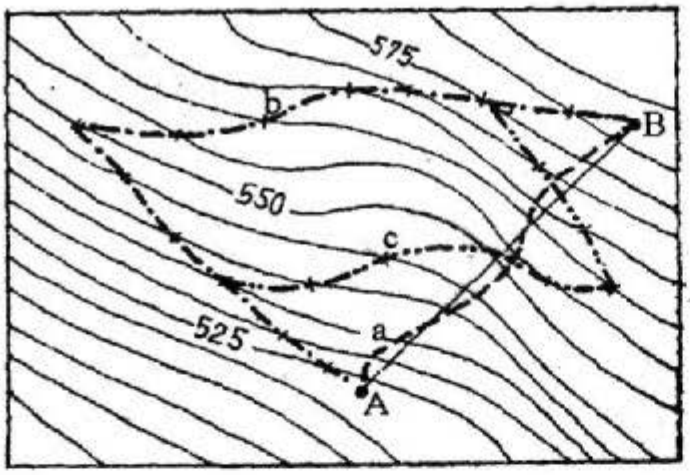


Fig. 14.4. Desfăşurarea unui traseu de coastă.

e. Traseul transversal văilor reprezintă de asemenea un caz frecvent de desfăşurare a unui traseu de cale de comunicaţie terestră. Traversarea văii se poate efectua direct printr-un traseu apropiat de linia călăuză (fig. 14.5.a), în regiunile de şes sau cu dealuri mici, cu condiţia ca punctul de traversare a liniei călăuză să fie corespunzător pentru amplasarea podului.

În regiuni accidentate, traversarea directă prezintă unele inconveniente în profil longitudinal, deoarece pantele versanţilor sunt mai mari decât declivităţile maxime admise. Pentru eliminarea acestor dezavantaje, linia roşie trebuie să se ridice uneori destul de mult deasupra terenului natural, implicând volume mari de terasamente pentru realizarea rampelor de acces, respectiv poduri sau viaducte cu lungimi mari.

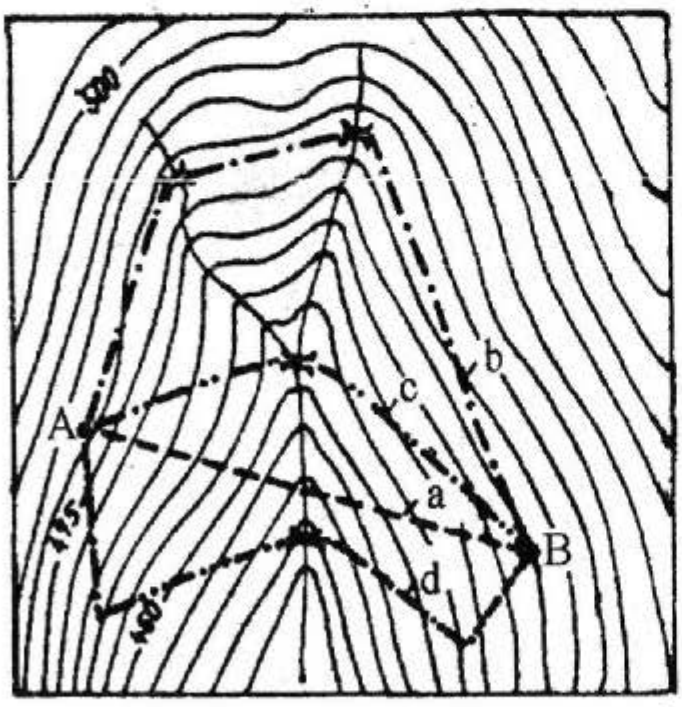


Fig. 14.5. Dezvoltarea unui traseu transversal văii.

Soluţia opusă celei prezentate anterior o constituie traversarea văii pe la "obârşie" (fig. 14.5.b), cu dezavantajul că se lungeşte foarte mult traseul şi este traversarea tuturor afluenţilor văii principale. Avantajele acestei soluţii constau şi în faptul că lucrările de terasamente sunt reduse, iar lucrările de artă pun de regulă mai puţine probleme tehnico-economice.

Soluţia intermediară care constă în coborârea traseului prin dezvoltarea lui pe versanţi, printr-o lungire artificială (serpentine sau folosirea unor văi laterale) şi folosirea unor locuri avantajoase de traversare (fig. 14.5.c şi 14.5.d). Această soluţie se recomandă în special în cazul depresiunilor largi.

f. Traseul transversal pe culme necesită în primul rând studierea punctelor favorabile de traversare (şeilor).

În general, se preferă şaua cu cota cea mai coborâtă, dacă nu conduce la o lungire nerațională a traseului. După stabilirea zonei de traversare se pune problema studiului a două sau mai multe variante de traseu de coastă care să lege punctele obligate de pe versanți. În final prin analize tehnico-economice se alege varianta optimă de traseu.

Traseul pe versanți poate fi dezvoltat printr-o urcare continuă, dacă declivitățile terenului natural permit acest lucru, respectiv pe văi secundare sau prin lungirea artificială a traseului cu serpentine.

O soluție interesantă, care poate fi luată în considerare în cazul traseelor dezvoltate transversal pe culme, constă în traversarea masivului cu tunel (tunel de bază sau tunel de vârf). Studiile privind amplasarea tunelului sunt ample şi pot conduce în final la variante mai favorabile tehnico-economic decât în cazul traversării masivului pe culme.

14.2.2. Condiții hidrologice

Condițiile hidrologice se referă la regimul apelor de suprafață şi a celor subterane.

Referitor la apele de suprafață, sunt importante de cunoscut pentru proiectant în principal următoarele date:

- debitele apelor de suprafață pe care le urmăreşte sau le traversează calea de comunicație, precum şi suprafața bazinelor lor de colectare;
- nivelul apelor maxime şi al apelor extraordinare, precum şi înălțimea şi lungimea valurilor, în cazul căilor de comunicație amplasate în zona râurilor, lacurilor etc., sau în cazul traversărilor;
- poziția torenților, viroagelor şi depresiunilor întâlnite de traseu.

Principiul general care trebuie avut în vedere la analiza condițiilor hidrologice este legat de echilibrul natural. Acesta nu trebuie pe cât posibil perturbat, iar lucrările de apărare şi consolidare trebuie corect dimensionate.

Condițiile hidrologice privind regimul apelor subterane care pot afecta capacitatea portantă a terenului de fundare, precum şi alte fenomene legate de stabilitate şi de degradarea structurilor de rezistență ale căilor de comunicație, se referă în principal la nivelul apelor subterane şi variația lui anuală.

De asemenea, proiectantul va trebui să dețină informații legate de stratificația terenului natural şi privind debitul, viteza şi direcția curenților de apă subterană.

Pe cât posibil, zonele cu nivelul ridicat al pânzei de apă freatică se vor evita sau, în caz contrar, se vor lua măsuri de coborâre a acestuia, respectiv de colectare şi evacuare corespunzătoare a apelor subterane.

14.2.3. Condiţii geologice şi geotehnice

În cadrul studiilor geologice şi geotehnice se urmăreşte în special determinarea structurii geologice a terenului, funcţie de care se verifică stabilitatea rocilor din zona de amplasament a căii de comunicaţie şi se iau măsuri pentru executarea în condiţii corespunzătoare a infrastructurii (terasamente, lucrări de artă, consolidări etc.).

Studiul geologic se referă la determinarea naturii petrografice a rocilor, stabilirea stratificaţiei şi tectonicii regiunii, determinarea condiţiilor de stabilitate a terenului şi la evidenţierea proceselor fizico-geologice.

Aceste studii sunt luate în considerare atât la stabilirea condiţiilor de execuţie a debleurilor şi rambleurilor, cât şi la determinarea locului de amplasament şi a condiţiilor de fundare pentru lucrările de artă. În urma studiului geologic se determină zonelor care trebuie pe cât posibil evitate (zone mlăştinoase, instabile, cu fenomene carstice etc.) şi se trag concluzii referitoare la posibilităţile de execuţie ale terasamentelor (debleu, rambleu, profil mixt).

Din punct de vedere geotehnic, se determină stratificaţia şi proprietăţile fizico-mecanice ale terenului din zona de amplasament a căii de comunicaţie. De asemenea, este necesară determinarea caracteristicilor fizico-mecanice ale materialelor ce urmează să fie folosite la realizarea terasamentelor şi a structurilor de rezistenţă.

Cu prilejul studiului geotehnic se identifică zonele slabe sau periculoase, precum şi elementele necesare pentru amplasarea lucrărilor de artă şi a consolidărilor. De asemenea, proiectantul trebuie să identifice camerele de împrumut pentru realizarea rambleurilor şi să efectueze studiul geotehnic al pământului din acestea.

14.2.4. Condiţii climaterice

Alegerea traseului unei căi de comunicaţie terestre trebuie să ţină seama şi de condiţiile climaterice care pot influenţa soluţia aleasă de proiectant. Principalii factori climaterici care se analizează la elaborarea proiectelor de căi de comunicaţie terestre sunt: precipitaţiile, temperaturile medii, maxime şi minime, regimul zăpezilor, direcţia vânturilor predominante etc.

Elementele sus-menţionate influenţează alegerea poziţiei şi a dimensiunilor dispozitivelor de colectare şi evacuare a apelor de suprafaţă, măsurile luate pentru stabilitatea terasamentelor şi evitarea efectului nefavorabil al fenomenului de îngheţ-dezgheţ.

De asemenea, proiectanul trebuie să ţină seama de posibilitatea producerii unor fenomene cum sunt înzăpezirile, viiturile de pe versanţi etc.

De exemplu, pentru evitarea înzăpezirilor frecvente este indicat ca traseul căii de comunicaţie să facă un unghi de max. 30^0 cu direcţia vânturilor dominante.

Pe de altă parte, regimul precipitaţiilor şi al temperaturilor pot influenţa alegerea soluţiei tehnice pentru structura rutieră şi tipul materialelor folosite.

14.3. Studiul traseului pe hartă şi compararea variantelor

Studiul traseului pe hartă este o etapă importantă în identificarea traseelor posibile. Această fază a proiectării are drept scop găsirea mai multor variante de traseu pe baza considerentelor prezentate anterior şi a cerinţelor precizate prin tema de proiectare.

Pentru început se folosesc hărţi la scară mică (1:20 000... 1:50 000) pe care se schiţează mai multe trasee posibile ţinând seama de configuraţia reliefului, de linia călăuză generată pe baza temei de proiectare şi a altor puncte obligate, de posibilităţile de traversare a râurilor, de intersecţiile şi de legăturile necesare cu alte căi de comunicaţie etc.

După această etapă, se selectează dintre variantele studiate pe cea care prezintă cele mai multe avantaje şi posibilităţi de realizare, prin utilizarea unor hărţi la scară mai mare (1:2 000...1:5 000). Pentru varianta aleasă se definitivează elementele geometrice ale traseului şi se materializează pe hartă.

Una dintre cele mai folosite posibilităţi de studiu a traseului pe hartă este **metoda axei zero**. Prin axa zero se înţelege linia fictivă de declivitate constantă, care aşezată în totalitate pe teren nu conduce nici la lucrări de umplutură, nici la lucrări de săpătură (o linie ideală cu cotele de lucru nule).

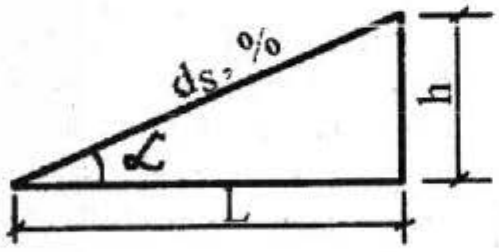


Fig. 14.6. Calculul segmentului de lungime constantă al axei zero.

Deoarece pe planul cu curbe de nivel toate detaliile planimetrice sunt redate în proiecţie orizontală, găsirea axei zero trebuie să înceapă cu determinarea lungimii segmentului de dreaptă L, măsurat între două curbe de nivel succesive cu diferenţa de nivel H şi între care declivitatea de studiu este d_s (fig. 14.6). În aceste condiţii, lungimea segmentului L este dată de relaţia următoare:

$$L = \frac{h}{d_s} \cdot 100 \quad [m] \qquad (14.1)$$

Declivitatea liniei roşii, după trasarea aliniamentelor şi racordarea lor, va fi diferită de declivitatea impusă pe axa zero, motiv pentru care declivitatea luată în considerare la studiul traseului cu metoda axei zero va fi de regulă cu 2,0...3,0 % mai mică decât declivitatea care se presupune că se va obţine pe traseul real.

Declivitățile de studiu (d_s) pentru determinarea axei zero pot fi la drumuri de 2,0...2,5 % la şes, 4,0...4,5 % la deal şi 5,0...6,0 % la munte.

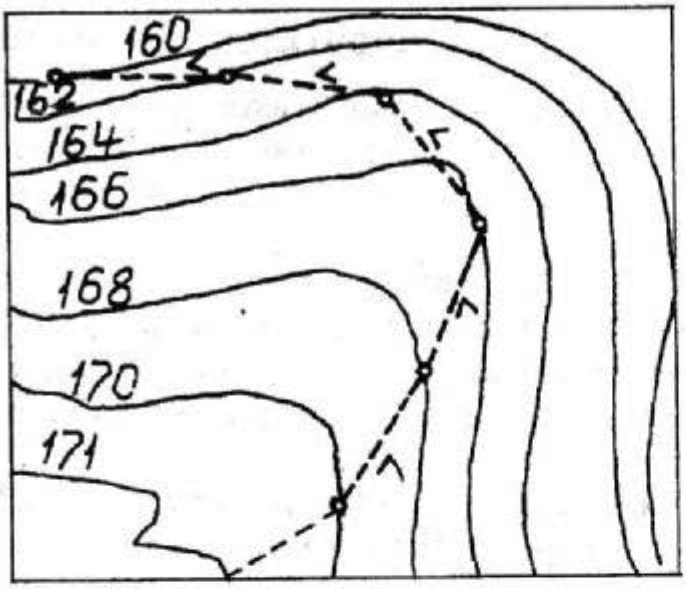


Fig. 14.7. Trasarea axei zero.

Aplicarea metodei axei zero pe planuri cu curbe de nivel constă, în principiu, în unirea curbelor de nivel succesive cu segmente de lungime L. Se obține astfel o linie poligonală care leagă puntele de pe fiecare curbă de nivel şi care se numeşte axa zero (fig. 14.7).

Pentru obținerea punctelor de pe curbele de nivel se poate folosi un distanțier (compas) a cărui deschidere este mărimea L redusă la scara corespunzătoare planului cu curbe de nivel.

După studiul traseului în acest mod se obțin mai multe variante de axe zero cu declivitate mai mică decât cea maximă admisă. Axele zero obținute se transformă prin trasarea unor aliniamente mai lungi pe o poziție medie a liniei poligonale, care se racordează apoi cu diferite tipuri de curbe. Traseele astfel obținute se vor analiza şi din punct de vedere al profilurilor longitudinale şi transversale.

În continuare se trece la identificarea variantelor pe teren şi la evidențierea avantajelor şi dezavantajelor fiecăreia dintre ele. Această fază se realizează prin parcurgerea cu piciorul a fiecărei variante de traseu. Prin acest studiu se elimină variantele necorespunzătoare, reținându-se numai cele cu posibilități de realizare.

Alegerea traseului optim se efectuează prin compararea indicilor tehnici şi economici ai variantelor reținute anterior. Dintre indicii utilizați frecvent la compararea variantelor de traseu se rețin următorii:

- indici tehnici: lungimea totală a traseului, declivitatea medie ponderată, suma lungimii sectoarelor cu declivități mari şi a sectoarelor în curbă, restricțiile de viteză, razele minime de racordare etc.;
- indici economici: volumul terasamentelor, numărul, lungimea şi volumul lucrărilor de artă, investiția specifică, costul unitar, recuperare a investiției etc.

După determinarea variantei optime se trece la materializarea pe teren a traseului definitiv în scopul obținerii datelor suplimentare realizării proiectului de execuție.

BIBLIOGRAFIE

1. BELC, F. **Contribuţii la studiul şi realizarea structurilor rutiere mixte**. Teză de doctorat. Universitatea Tehnică din Timişoara, 1993.
2. BELC, F. **Căi de comunicaţii terestre şi lucrări de artă**. Partea I. Litografia Universităţii "Politehnica" din Timişoara, 1996.
3. BELC, F. **Căi de comunicaţii terestre şi lucrări de artă**. Partea a II-a. Litografia Universităţii "Politehnica" din Timişoara, 1997.
4. BELC, F. **Posibilităţi de prevenire a fisurării îmbrăcămin̦ţilor structurilor rutiere mixte**. Revista "Drumuri şi poduri", nr. 25-26/1995.
5. BEREZIUC, R., ALEXANDRU, V., OLTEANU, N., POP, I. **Drumuri forestiere**. Bucureşti, Editura Tehnică, 1989.
6. BEREZIUC, R. şi OPRIŢA, V. **Proiectarea şi construcţia drumurilor forestiere**. Bucureşti, Editura Ceres, 1974.
7. BEURAN, M. **Proiectarea şi construcţia drumurilor**. Vol. I. Litografia Institutului Politehnic Cluj-Napoca, 1977.
8. COFLEA, M., MITRAN, G., SBURLEA, D. A. **Îndrumător topografic pentru căi de comunicaţie**. Bucureşti, Editura Tehnică, 1955.
9. COQUAND, R. **Drumuri**. Vol. I şi II. Traducere din limba franceză. Bucureşti, Editura Tehnică, 1968.
10. COQUAND, R. **Routes. Circulation - tracé**. Paris, Édition Eyrolles, 1979.
11. COSTESCU, I. şi BELC, F. **Drumuri urbane. Întreţinerea şi exploatarea drumurilor**. Litografia Universităţii Tehnice din Timişoara, 1995.
11. COSTESCU, I., LUCACI, G., BANCEA, C., BELC, F. **Drumuri. Îndrumător de proiectare**. Litografia Universităţii Tehnice Timişoara, 1993.
12. CRAUS, I. şi GUŢU, V. **Studiul şi proiectarea drumurilor**. Bucureşti, Editura Didactică şi Pedagogică, 1965.
13. DOROBANŢU, S. ş. a. **Drumuri. Calcul şi proiectare**. Bucureşti, Editura Tehnică, 1980.
14. HERMAN, A. şi IVANA, C. **Elemente geometrice ale căii ferate**. Timişoara, Editura Mirton, 1999.
15. HILA, V. ş. a. **Curs de căi ferate**. Institutul de Construcţii Bucureşti, 1975.
16. IGNAT, D. **Transportul ieri şi azi**. Bucureşti, Editura Tehnică, 1989.
17. IZDRĂILĂ, V., KRAIOVAN, M., BELC, F. **Trasee**. Litografia Institutului Politehnic "Traian Vuia" din Timişoara, 1989.

18. IZDRĂILĂ, V. **Căi ferate**. Litografia Institutului Politehnic "Traian Vuia" din Timişoara, 1990.
19. IZDRĂILĂ, V. **Drumuri. Elemente geometrice**. Litografia Institutului Politehnic "Traian Vuia" din Timişoara, 1970.
20. IZDRĂILĂ, V. şi HERMAN, A. **Întreţinerea şi exploatarea căii ferate**. Litografia Universităţii Tehnice din Timişoara, 1993.
21. JEUFFROY, G. **Conception et construction des chaussées**. Paris, Édition Eyrolles, 1978.
22. KRAIOVAN, M. Căi de comunicaţii terestre. Litografia Institutului Politehnic "Traian Vuia" din Timişoara, 1980.
23. MĂTĂSARU, T. ş. a. **Drumuri**. Bucureşti, Editura Tehnică, 1966.
24. NICOARĂ, L. şi COSTESCU, I. **Tehnologia lucrărilor de construcţii**. Litografia Institutului Politehnic "Traian Vuia" Timişoara, 1988.
25. NICOARĂ, L. şi LUCACI, G. **Terasamente**. Litografia Institutului Politehnic "Traian Vuia" din Timişoara, 1987.
26. NICOARĂ, L. şi LUCACI, G. **Trafic şi autostrăzi**. Litografia Institutului Politehnic "Traian Vuia" din Timişoara, 1988.
27. NICOARĂ, L. şi BILŢIU, A. **Îmbrăcăminţi rutiere moderne**. Bucureşti, Editura Tehnică, 1983.
28. NICOARĂ, L., BOICU, M., STELEA, L., LUCACI, G., BELC, F. **În memoria drumarilor**. Bucureşti, Editura Inedit, 1998.
29. TURBUŢ, G. ş. a. **Sistemul unitar de transport al României**. Bucureşti, Editura Tehnică, 1981.
30. POPOVICI, D., BOBOC, V., FLORESCU, E. **Căi de comunicaţii terestre**. Iaşi, Casa de Editură Venus, 1998.
31. RĂCĂNEL, I. **Drumuri moderne. Racordări cu clotoidă**. Bucureşti, Editura Tehnică, 1987.
32. SBORA, T. ş. a. **Sistemul unitar al transporturilor**. Craiova, Editura Scrisul Românesc, 1984.
33. ZAROJANU, H. **Drumuri. Trasee**. Litografia Institutului Politehnic Iaşi, 1991.
34. * * * **Anuarul statistic al României**. Bucureşti, Direcţia Centrală de Statistică, 1993-1997.
35. * * * **Documentele celui de al X-lea Congres Naţional de Drumuri şi Poduri**. Vol. I-IV, Iaşi, 1998.
36. * * * **Infrastructura transporturilor din România**. Ministerul Transporturilor Bucureşti. Masă rotundă, Sinaia, 1994.
37. * * * **Reţeaua de drumuri publice din România**. Ministerul Transporturilor Bucureşti. Masă rotundă, Sinaia, 1994.
38. * * * **Lucrări de drumuri**. Colecţia standardelor şi normativelor în vigoare.
39. * * * **Lucrări de căi ferate**. Colecţia standardelor şi normativelor în vigoare.

Elementele clotoidei de bază pentru $\tau = 0...100^g$ și R = 1 Anexa 1

τ^g	T tg τ	B sec τ - 1	c (L) 2 τ [rad]	x_0 sin τ	y_0 1 - cos τ	$\frac{x'}{s \cdot x'}$	$\frac{\Delta R}{s \cdot \Delta R}$	$\frac{x}{s \cdot x}$	$\frac{y}{s \cdot y}$	$\varphi\,[^g]$ $\frac{\varphi}{\varphi}$	$\frac{A}{s}$
0	0,00000 1571	0,00000 12	0,00000 3142	0,00000 1571	0,00000 12	0,00000 1571	0,00000 4	0,00000 3142	0,00000 16	0,0000 3333	0,00000 17725
1	0,01571 1572	0,00012 37	0,03142 3141	0,01571 1970	0,00012 37	0,01571 150	0,00004 12	0,03142 3140	0,00016 49	0,0000 3334	0,17725 7341
2	0,03143 1573	0,00049 62	0,06283 3142	0,03141 1570	0,00049 62	0,03141 1571	0,00016 21	0,06282 3141	0,00065 83	0,6667 3333	0,25066 5634
3	0,04716 1575	0,00111 87	0,09425 3141	0,04711 1568	0,00111 86	0,04712 1570	0,00037 29	0,09423 3138	0,00148 115	1,0000 3333	0,30700 4749
4	0,06291 1579	0,00198 111	0,12566 3142	0,06279 1567	0,00197 111	0,06282 1570	0,00066 37P	0,12561 3137	0,00263 148	1,3333 3333	0,35449 4184
5	0,07870 1583	0,00309 137	0,15708 3142	0,07852 1565	0,00308 136	0,07852 1570	0,00103 45	0,15698 3135	0,00411 181	1,6666 3332	0,39633 3783
6	0,09453 1587	0,00446 162	0,18850 3141	0,09511 1562	0,00444 160	0,09422 1569	0,00148 53	0,18833 3131	0,00592 213	1,9998 3333	0,43416 3479
7	0,11040 1593	0,00608 187	0,21991 3142	0,10973 1560	0,00604 185	0,10991 1569	0,00201 62	0,21964 3129	0,00805 247	2,3331 3332	0,46895 3238
8	0,12633 1599	0,00795 213	0,12553 3141	0,12533 1557	0,00789 209	0,12560 1568	0,00263 70	0,25093 3125	0,01052 279	2,6663 3332	0,50133 3041
9	0,14232 1606	0,01008 239	0,28274 3142	0,14090 1553	0,00998 233	0,14128 1567	0,00333 78	0,28218 3120	0,01331 311	2,9995 3531	0,53174 2876
10	0,15838 1615	0,01247 265	0,31416 3142	0,15643 1550	0,01231 258	0,15695 1567	0,00411 86	0,31338 3117	0,01642 344	3,3326 3331	0,56050 2736
11	0,17453 1623	0,01512 291	0,34558 3141	0,17193 1545	0,01489 282	0,17262 1565	0,00497 94	0,34455 3110	0,01986 376	3,6657 3331	0,58786 2614
12	0,19076 1633	0,01803 319	0,37699 3142	0,18738 1541	0,01771 307	0,18827 1565	0,00591 103	0,37565 3106	0,02362 400	3,9988 3330	0,61400 2507

τ^s	T tg τ	B sec τ - 1	c (L) 2 τ [rad]	x_0 sin τ	y_0 1 - cos τ	$\frac{x}{s \cdot x}$	$\frac{\Delta R}{s \cdot \Delta R}$	$\frac{x}{s \cdot x}$	$\frac{y}{s \cdot y}$	$\varphi\,[^s]$ φ	$\frac{A}{s}$
12	0,19076 1633	0,01803 319	0,37699 3142	0,18738 1541	0,01771 307	0,18827 1565	0,00591 103	0,37565 3106	0,02362 400	3,9988 3330	0,61400 2507
13	0,20709 1644	0,02122 346	0,40841 3141	0,40841 1535	0,20278 330	0,20392 1564	0,00694 111	0,40671 3099	0,02772 441	4,3318 3330	0,63907 2412
14	0,22353 1655	0,02468 374	0,43982 3142	0,21814 1531	0,02408 355	0,21956 1562	0,00805 118	0,43770 3093	0,03213 473	4,6648 3328	0,66319 2328
15	0,24008 1668	0,02842 402	0,47124 3141	0,23345 1524	0,03763 379	0,23518 1562	0,00923 127	0,46863 3086	0,03686 506	4,9976 3329	0,68647 2251
16	0,25676 1681	0,03244 430	0,50265 3142	0,24869 1518	0,03142 402	0,25080 1560	0,01050 135	0,49949 3078	0,04192 537	5,3305 3327	0,70898 2182
17	0,27357 1696	0,03674 451	0,53407 3142	0,26387 1512	0,03544 427	0,26640 1559	0,01185 144	0,53027 3071	0,04729 571	5,6632 3327	0,73000 2119
18	0,29053 1711	0,04135 490	0,56549 3141	0,27899 1505	0,03971 450	0,28199 1558	0,01329 151	0,56098 3063	0,05300 601	5,9959 3326	0,75199 2080
19	0,30764 1728	0,04625 521	0,59690 3142	0,29404 1498	0,04421 473	0,29757 1556	0,01480 159	0,59161 3054	0,05901 632	6,3285 3326	0,77259 2008
20	0,32429 1746	0,05146 553	0,62832 3141	0,30902 1490	0,04894 497	0,31313 1554	0,01639 168	0,62215 3044	0,06533 665	6,6611 3324	0,79267 1957
21	0,34238 1764	0,05699 584	0,65973 3142	0,32392 1482	0,05391 521	0,32867 1553	0,01807 175	0,65259 3035	0,07198 696	6,9935 3324	0,81224 1911
22	0,36002 1785	0,06283 618	0,69115 3142	0,33874 1473	0,05912 544	0,34420 1552	0,01982 183	0,68294 3025	0,07894 727	7,3259 3323	0,83135 1869
23	0,37787 1806	0,06901 652	0,72257 3141	0,35347 1465	0,06456 566	0,35972 1549	0,02165 192	0,71319 3014	0,08621 758	7,6582 3321	0,85004 1828
24	0,39593 1828	0,07553 666	0,75398 3142	0,36812 1456	0,07022 590	0,37521 1548	0,02357 199	0,74333 3004	0,09379 789	7,9903 3321	0,86832 1791

τ^g	T tg τ	B sec τ - 1	c (L) 2 τ [rad]	x_0 sin τ	y_0 1 - cos τ	x s·x	ΔR s·ΔR	k s·x	y s·y	φ [g] φ	A s
24	0,39593 1828	0,07553 666	0,75398 3142	0,36812 1456	0,07022 590	0,37521 1548	0,02357 199	0,74333 3004	0,09379 789	7,9903 3321	0,86832 1791
25	0,41421 1853	0,08239 723	0,78540 3141	0,38268 1447	0,07612 613	0,39069 1546	0,02556 207	0,77337 2993	0,10168 820	8,3224 3320	0,88623 1755
26	0,43274 1878	0,08962 759	0,81681 3142	0,39715 1436	0,08225 635	0,40615 1543	0,02763 216	0,80330 2979	0,10988 851	8,6544 3318	0,90378 1721
27	0,45152 1904	0,09721 797	0,84823 3142	0,41151 1427	0,06860 657	0,42158 1542	0,02979 223	0,83309 2969	0,11839 880	8,9862 3318	0,92099 1690
28	0,47056 1933	0,10518 837	0,87965 3141	0,42578 1416	0,09517 680	0,43700 1540	0,03202 231	0,86278 2956	0,12719 911	9,3180 3316	0,93789 1661
29	0,48989 1984	0,11355 878	0,91106 3142	0,43994 1405	0,10197 702	0,45240 1537	0,03433 2239	0,89234 2942	0,13630 941	9,6496 3315	0,95450 1631
30	0,50953 1994	0,12233 919	0,94248 3141	0,45399 1394	0,10899 724	0,46777 1535	0,05672 247	0,92176 2929	0,14571 971	9,9811 3314	0,97081 1605
31	0,52947 2028	0,13152 963	0,97389 3142	0,46793 1382	0,11623 746	0,48312 1533	0,03919 264	0,95105 2915	0,15542 1000	10,3125 3312	0,98686 1579
32	0,54975 2064	0,14115 1009	1,00531 3142	0,48175 1371	0,12369 768	0,49845 1530	0,04173 266	0,98020 2901	0,16542 2031	10,6437 3311	1,00265 1555
33	0,57039 2101	0,15124 1055	1,03673 3141	0,49546 1358	0,13137 789	0,51375 1528	0,04436 270	1,00921 2886	0,17573 1059	10,9748 3310	1,01820 1531
34	0,59140 2140	0,16179 1104	1,06814 3142	0,50904 1346	0,13926 810	0,59903 1526	0,04706 278	1,03807 2872	0,18632 1088	11,3058 3308	1,03351 1509
35	0,61280 2182	0,17283 1154	1,09956 3141	0,52250 13333	0,14736 831	0,54429 1522	0,04984 285	1,06679 2855	0,19720 1116	11,6366 3307	1,04860 1487
36	0,63462 2224	0,18437 1208	1,13097 3142	0,53583 1319	0,15567 852	0,55951 1520	0,05269 293	1,09534 2039	0,20836 1145	11,9673 3305	1,06347 1467

τ^g	T tg τ	B sec τ - 1	c (L) 2 τ [rad]	x_0 sin τ	y_0 1 - cos τ	$\frac{x'}{s \cdot x'}$	$\frac{\Delta R}{s \cdot \Delta R}$	$\frac{x}{s \cdot x}$	$\frac{y}{s \cdot y}$	$\varphi\,[^g]$ φ	$\frac{A}{s}$
36	0,63462 2224	0,18437 1208	1,13097 3142	0,53583 1319	0,15567 852	0,55951 1520	0,05269 293	1,09534 2039	0,20836 1145	11,9673 3305	1,06347 1467
37	0,75688 2272	0,19645 1262	1,16239 3142	0,54902 1306	0,16419 873	0,57471 1517	0,05562 301	1,12373 2823	0,21981 1174	12,2978 3304	1,07814 1447
38	0,67960 2321	0,20907 1320	1,19381 3141	0,56208 1293	0,17292 893	0,58988 1515	0,05863 309	1,15196 2808	0,25155 1202	12,6281 3302	1,06261 1429
39	0,70281 2373	0,22227 1380	1,22522 3142	0,57501 1278	0,18185 913	0,60503 1511	0,06172 316	1,18004 2789	0,24357 1229	12,9583 3300	1,10690 1410
40	0,72654 2428	0,23607 1442	1,25664 3141	0,58779 1263	0,19098 934	0,62014 1508	0,06488 323	1,20793 2771	0,25586 1257	13,2883 3299	1,12100 1392
41	0,75082 2476	0,25049 1508	1,28805 3142	0,60042 1249	0,20032 952	0,63522 1506	0,06811 331	1,23564 2755	0,26843 1283	13,6182 3297	1,13492 1376
42	0,77568 2547	0,26557 1577	1,31947 3141	0,61291 1233	0,20984 973	0,65028 1502	0,07142 339	1,26319 2735	0,28126 1312	13,9479 3295	1,14868 1360
43	0,80115 2612	0,28134 1650	1,35088 3142	0,62524 1218	0,21957 992	0,66530 1499	0,07481 346	1,29054 2717	0,29438 1338	14,2774 3293	1,16228 1343
44	0,82727 2681	0,29784 1725	1,38230 3142	0,63742 1203	0,22949 1010	0,68029 1496	0,07827 353	1,31771 2699	0,30776 1363	14,6067 3291	1,17571 1329
45	0,85408 2754	0,31509 1805	1,41372 3141	0,64945 1186	0,23959 1030	0,69525 1492	0,08180 361	1,34470 2678	0,32139 1391	14,9358 3289	1,18900 1314
46	0,88162 2831	0,33314 1889	1,44513 3142	0,66131 1170	0,24989 1048	0,71017 1489	0,85541 368	1,37148 2659	0,35530 1416	15,2647 3287	1,20214 1299
47	0,90993 2913	0,35203 2977	1,47655 3141	0,67301 1154	0,26037 1066	0,72506 1486	0,08909 376	1,39807 2640	0,34946 1442	15,5934 3285	1,21513 1286
48	0,93906 3001	0,37180 2071	1,50796 3142	0,68455 1136	0,27103 1084	0,73992 1482	0,09285 382	1,42447 2618	0,36388 1466	15,9219 3283	1,22799 1273

τ^g	T tg τ	B sec τ - 1	c (L) 2 τ [rad]	x_0 sin τ	y_0 1 - cos τ	$\frac{x}{s \cdot x}$	$\frac{\Delta R}{s \cdot \Delta R}$	$\frac{x}{s \cdot x}$	$\frac{y}{s \cdot y}$	φ [g] φ	$\frac{A}{s}$
48	0,93906 3001	0,37180 2071	1,50796 3142	0,68455 1136	0,27103 1084	0,73992 1482	0,09285 382	1,42447 2618	0,36388 1466	15,9219 3283	1,22799 1273
49	0,96907 3093	0,39251 2170	1,53938 3142	0,69591 1120	0,28187 1102	0,75474 1478	0,09667 390	1,45065 2598	0,37854 1492	16,2502 3281	1,24072 1259
50	1,00000 3192	0,41421 2275	1,57080 3141	0,70711 1102	0,29289 1120	0,76952 1475	0,10057 397	1,47663 2583	0,49346 1424	16,5783 3279	1,25331 1248
51	1,03192 3297	0,43696 2386	1,60221 3142	0,71813 1084	0,30409 1184	0,78427 1471	0,10454 405	1,50240 2555	0,40863 1541	16,9062 3276	1,26579 1234
52	1,06489 3410	0,46082 2504	1,63363 3141	0,72897 1066	0,31593 1154	0,79898 1467	0,10859 411	1,52795 2533	0,42404 1565	17,2328 3274	1,27813 1224
53	1,09890 3538	0,48586 2629	1,66504 3142	0,73963 1048	0,32699 1170	0,81365 1464	0,11270 418	1,55328 2512	0,43969 1588	17,5602 3272	1,29037 1211
54	1,13428 3557	0,51215 2762	1,69646 3142	0,75011 1030	0,33869 1186	0,82829 1458	0,11688 425	1,57840 2489	0,45557 1611	17,8884 3270	1,30248 1201
55	1,17085 3794	0,53977 2904	1,72788 3141	0,76041 1010	0,35055 1203	0,84288 1456	0,12113 433	1,60329 2466	0,47168 1636	18,2154 3267	1,31449 1189
56	1,20879 3941	0,56881 3057	1,75929 3142	0,77051 992	0,36258 1218	0,85744 1451	0,12546 439	1,62795 2445	0,48804 1657	18,5421 3264	1,32638 1179
57	1,24820 4099	0,59938 3219	1,79071 3141	0,78043 973	0,37476 1233	0,87195 1448	0,12985 446	1,65238 2421	0,50461 1679	18,8685 3262	1,33817 1169
58	1,28919 4268	0,63157 3393	1,82212 3142	0,79016 952	0,38719 1249	0,88643 1443	0,13431 453	1,67659 2395	0,52140 1702	19,1947 3259	1,34986 1159
59	1,33187 4451	0,66550 3580	1,85354 3142	1,85354 934	0,79968 1263	0,90086 1439	0,13884 460	1,70054 2373	0,53842 1725	19,5206 3257	1,36145 1149
60	1,37638 4648	0,70130 3781	1,88496 3141	0,80902 913	0,41221 1278	0,91525 1445	0,14344 466	1,72427 2348	0,55565 1744	19,8466 3254	1,37294 1139

τ^g	T tg τ	B sec τ - 1	c (L) 2 τ [rad]	x_0 sin τ	y_0 1 - cos τ	$\frac{x}{s \cdot x}$	$\frac{\Delta R}{s \cdot \Delta R}$	$\frac{x}{s \cdot x}$	$\frac{y}{s \cdot y}$	φ [g] φ	$\frac{A}{s}$
60	1,37638 4648	0,70130 3781	1,88496 3141	0,80902 913	0,41221 1278	0,91525 1445	0,14344 466	1,72427 2348	0,55565 1744	19,8466 3254	1,37294 1139
61	1,42286 4860	0,73911 3999	1,91637 3142	0,81815 893	0,42499 1293	0,92960 1430	0,14810 473	1,74775 2323	0,57309 1766	20,1717 3251	1,38433 1130
62	1,47146 5089	0,77910 4232	1,94779 3141	0,82708 873	0,43792 1306	0,94390 1426	0,15283 480	1,77098 2299	0,59075 1786	20,4968 3249	1,39563 1121
63	1,52235 5340	0,82142 4485	1,97920 3142	0,83581 852	0,45098 1319	0,95816 1422	0,15763 486	1,79397 2274	0,60861 1805	20,8217 3245	1,40684 512
64	1,57575 5610	0,86627 4761	2,01062 3142	0,84433 821	0,46417 1333	0,97238 1417	0,16249 493	1,81671 2248	0,62666 1826	21,1462 3243	1,41196 1704
65	1,63185 5906	0,91388 5060	2,04204 3141	0,85264 810	0,47750 1346	0,98655 1412	0,16742 499	1,83919 2222	0,64492 1845	21,4705 3240	1,42900 1095
66	1,69091 6228	0,96448 5385	2,07345 3142	0,86074 789	0,49096 1359	1,00067 1408	0,17261 506	1,86141 2179	0,66337 1864	21,7945 3237	1,43995 1087
67	1,75319 6580	1,01833 5742	2,10487 3141	0,86863 768	0,50454 1371	1,01475 1403	0,17747 512	1,88338 2171	0,68201 1885	22,1182 3233	1,45082 1074
68	1,81899 6968	1,07575 6132	2,13628 3141	0,87631 746	0,51825 1382	1,02878 1399	0,18259 519	1,91509 2145	0,70084 1901	22,4415 3231	1,46160 1071
69	1,88867 7393	1,13707 6562	2,16770 3141	0,88377 724	0,53207 1394	1,04277 1393	0,18778 524	1,92654 2117	0,71985 1918	22,7646 3227	1,47231 1063
70	1,96261 7864	1,20269 7035	2,19911 3142	0,89101 702	0,54601 1405	1,05670 1389	0,19302 531	1,94771 2091	0,73903 1936	23,0873 3224	1,48294 1056
71	2,04125 8386	1,27304 7559	2,23053 3142	0,89803 680	0,56006 1416	1,07059 1384	0,19833 537	1,96862 2064	0,75839 1953	23,4097 3221	1,49350 1048
72	2,12511 8964	1,34863 8142	2,26195 3141	0,90483 657	0,57422 1427	1,08443 1379	0,20370 544	1,98926 2036	0,77792 1971	23,7318 3218	1,50398 1041

τ^g	T tg τ	B sec τ - 1	c (L) 2 τ [rad]	x_0 sin τ	y_0 1 - cos τ	$\frac{x'}{s \cdot x'}$	$\frac{\Delta R}{s \cdot \Delta R}$	$\frac{x}{s \cdot x}$	$\frac{y}{s \cdot y}$	φ [g] φ	$\frac{A}{s}$
72	2,12511 8964	1,34863 8142	2,26195 3141	0,90483 657	0,57422 1427	1,08443 1379	0,20370 544	1,98926 2036	0,77792 1971	23,7318 3218	1,50398 1041
73	2,21475 9611	1,43005 8790	2,29336 3142	0,91140 635	0,58849 1436	1,09822 1374	0,20914 549	2,00962 2009	0,79763 1985	24,0536 3214	1,51439 1033
74	2,31086 10335	1,51795 9518	2,32478 3141	0,91775 613	0,60285 1447	1,11196 1369	0,21463 555	2,02971 1982	0,81748 2002	24,3750 3211	1,52472 1027
75	2,41421 11150	1,61313 10334	2,35619 3142	0,92388 590	0,61732 1456	1,12565 1364	0,22018 562	2,04953 1954	0,83750 2018	24,6961 3207	1,53499 1020
76	2,52571 12071	1,71647 11259	2,38751 3142	0,92978 544	0,63188 1473	1,13929 1354	0,22580 573	2,06907 1898	0,85768 2046	25,0168 3200	1,54519 1007
77	2,64642 13119	1,82906 12307	2,41903 3141	0,93544 544	0,64653 1473	1,15287 1354	0,23147 573	2,08831 1898	0,87800 2046	25,3371 3200	1,55532 1007
78	2,77761 14315	1,95213 13508	2,45044 3142	0,94008 521	0,66126 1482	0,66126 1348	1,16641 579	0,23720 1869	2,10729 2061	0,89846 3197	1,56539 1000
79	2,92076 156692	2,08721 14586	2,48186 3141	0,94609 497	0,67608 1490	1,17989 1343	0,24299 584	2,12598 1840	0,91907 2074	25,9768 3192	1,57539 994
80	3,07768 17287	2,23607 16482	2,31327 3142	0,95106 473	0,69098 1498	1,19332 1337	0,24883 591	2,14438 1810	0,93981 2089	26,2960 3189	1,58533 988
81	3,25055 19147	2,40089 18345	2,54469 3142	0,95579 450	0,70596 1505	1,20669 1332	0,25474 595	2,16248 1782	0,96070 2100	26,6149 3185	1,59521 982
82	3,44202 21336	2,58434 30536	2,57611 3141	0,96029 427	0,72101 1512	1,22001 1327	0,26069 602	2,18030 1754	0,98170 2114	26,9334 3181	1,60503 975
83	3,65538 23936	2,78970 23137	2,60752 3142	0,96456 402	0,73613 1518	1,23328 1321	0,26671 607	2,19784 1723	1,00284 2125	27,2515 3177	1,61478 970
84	3,89974 27056	3,02107 26259	2,63894 3141	0,96858 379	0,75131 1516	1,24649 1316	0,27278 612	2,21507 1695	1,02409 2148	27,5692 3169	1,62448 959

τ^g	T tg τ	B sec τ - 1	c (L) 2 τ [rad]	x_0 sin τ	y_0 1 - cos τ	$\frac{x}{s \cdot x'}$	$\frac{\Delta R}{s \cdot \Delta R}$	$\frac{x}{s \cdot x}$	$\frac{y}{s \cdot y}$	$\varphi\,[^g]$ φ	$\frac{A}{s}$
84	3,89974 27056	3,02107 26259	2,63894 3141	0,96858 379	0,75131 1516	1,24649 1316	0,27278 612	2,21507 1695	1,02409 2148	27,5692 3169	1,62448 959
85	4,16530 30844	3,28366 30048	2,67035 3142	0,97237 355	0,76655 1531	1,25965 1310	0,27890 617	2,23202 1665	1,04545 2148	27,8865 3169	1,63412 959
86	4,47374 35508	3,58414 34714	2,70177 3142	0,97592 330	0,78186 1535	1,27275 1305	0,28507 623	2,24867 1635	1,06693 2158	28,2034 3164	1,64371 952
87	4,82882 41336	3,93128 40543	2,93319 3141	0,97922 307	0,79721 1541	1,28580 1299	0,29130 629	2,26502 1606	1,08851 2170	28,5198 3161	1,65323 948
88	5,24218 48756	4,35671 47964	2,76460 3142	0,98229 282	0,81262 1545	1,29879 1293	0,29759 633	2,28108 1575	1,11021 2178	28,8359 3156	1,66271 942
89	5,72974 58401	4,81635 57610	2,79602 3141	0,98511 258	0,82907 1550	1,31172 1288	0,30392 639	2,29683 1546	1,13199 2189	29,1515 3152	1,67213 937
90	6,31375 71262	5,39245 70472	2,82743 3141	0,98769 233	0,84357 1553	1,32460 1281	0,31031 643	2,31229 1514	1,15388 2196	29,4667 3147	1,68150 931
91	7,02637 88945	6,09717 88156	2,85885 3142	0,99002 209	0,85910 1556	1,33741 1276	0,31674 649	2,32743 1485	1,17584 2206	29,7814 3143	1,69081 927
92	7,91582 1,14207	6,97873 1,13419	2,89027 3141	0,99211 185	0,87467 1560	1,35017 1270	0,32323 650	2,34228 1455	1,19790 2213	30,0957 3138	1,70008 921
93	9,05789 1,52101	8,11292 1,51313	2,92168 3141	0,99396 160	0,89027 1562	1,36287 1264	0,32976 658	2,35683 1424	1,22003 2220	30,4995 3134	1,70929 917
94	10,5789 2,1273	9,62605 2,11944	2,95310 3141	0,99556 136	0,90589 1565	1,37551 1259	0,33634 664	2,37107 1395	1,24223 2229	30,7229 3129	1,71846 911
95	12,7062 3,18834	11,7455 3,18049	2,98451 3142	0,99692 111	0,92154 1567	1,38810 1252	0,34298 668	2,38502 1363	1,26452 2235	31,0358 3124	1,72757 907
96	15,8945 5,31041	14,9260 5,30251	3,01593 3141	0,99803 86	0,93721 1568	1,40062 1246	0,34966 672	2,39865 1332	1,28687 2240	31,3482 3126	1,73664 902

τ^g	T tg τ	B sec τ - 1	c (L) 2 τ [rad]	x_0 sin τ	y_0 1 - cos τ	$\frac{x'}{s}$ $\bar{s}\cdot\bar{x}'$	$\frac{\Delta R}{s}$ $\bar{s}\cdot\overline{\Delta R}$	$\frac{x}{s}$ $\bar{s}\cdot\bar{x}$	$\frac{y}{s}$ $\bar{s}\cdot\bar{y}$	φ [g] $\bar{\varphi}$	$\frac{A}{s}$
96	15,8945 ,31041	14,9260 5,30251	3,01593 3141	0,99803 86	0,93721 1568	1,40062 1246	0,34966 672	2,39865 1332	1,28687 2240	31,3482 3126	1,73664 902
97	21,2049 10,6155	20,2285 10,6076	3,04734 3142	0,99889 62	0,95289 1570	1,41308 1140	0,35638 677	2,41197 1302	1,30927 2247	31,6608 3114	1,74566 898
98	31,8205 31,8362	30,8362 31,8285	3,07876 3142	0,99951 37	0,96859 1570	1,42548 1235	0,36315 682	2,42499 1272	1,33174 2252	31,9716 3110	1,75464 893
99	63,6567	62,6647	3,11018 3141	0,99988 12	0,98429 1571	1,43783 1228	0,36977 686	2,43771 1240	1,35426 2237	32,2826 3104	1,76357 888
100	-	-	3,14159	1,00000	1,00000	1,45011	0,37683	2,45011	1,37663	72,5930	1,77245

Observație: Notațiile $\bar{s}; \bar{x}'; \overline{\Delta R}; \bar{x}; \bar{y}; \bar{\varphi}$ au fost stabilite pentru determinaa elementelor unui punct de pe clotoidă, iar la sfârșitul clotoidei se ține seama că $\rho = R$, astfel:

$$\bar{s} = \frac{s}{A}$$

$$A = \sqrt{\rho \cdot s} = \rho \cdot \bar{s} = R \cdot \bar{s}$$

$$x = A\left(\bar{s} - \frac{\bar{s}^5}{40} + \frac{\bar{s}^9}{3456} - \cdots\right) = A \cdot \bar{x} = R \cdot \bar{s} \cdot \bar{x}$$

$$y = A\left(\frac{\bar{s}^3}{6} - \frac{\bar{s}^7}{336} + \frac{\bar{s}^{11}}{42240} - \cdots\right) = A \cdot \bar{y} = R \cdot \bar{s} \cdot \bar{y}$$

$$x' = A\left(\frac{\bar{s}}{2} - \frac{\bar{s}^5}{240} + \frac{\bar{s}^9}{34560} - \cdots\right) = A \cdot \bar{x}' = R \cdot \bar{s} \cdot \bar{x}'$$

$$\Delta R = A\left(\frac{\bar{s}^3}{24} - \frac{\bar{s}^7}{2688} + \frac{\bar{s}^{11}}{506880} - \cdots\right) = A \cdot \overline{\Delta R} = R \cdot \bar{s} \cdot \overline{\Delta R}$$

Elementele geometrice ale clotoidelor frecvent utilizate la proiectarea racordărilor de drumuri Anexa 2

V = 60 km

R, în m	L, în m	A, în m	ΔR, în m	x, în m	y, în m	x', în m	τ, în ^{g}	i, în %	d, în %	e, în cm
115	75	92,8709	2,03	74,21	8,09	37,37	20,7593	7,0	5,8	35
	95	104,523	3,25	93,39	12,92	47,23	26,2952			
	115	115,000	4,75	112,16	18,83	57,02	31,8310			
120	75	94,8683	1,95	74,27	7,76	37,38	19,8944	7,0	5,9	30
	95	106,771	3,12	93,52	12,40	47,25	25,1995			
	115	117,473	4,55	112,39	18,07	57,06	30,5047			
125	75	96,8246	1,87	74,33	7,45	37,39	19,0986	7,0	5,9	30
	95	108,973	2,99	93,64	11,95	47,27	24,1916			
	115	119,896	4,38	112,59	17,37	57,10	29,2845			
130	75	98,7421	1,80	74,38	7,17	37,40	18,3640	7,0	6,0	30
	95	111,131	2,88	93,74	11,46	47,29	23,2611			
	115	122,270	4,21	112,77	16,72	57,13	28,1582			
140	75	102,470	1,67	74,46	6,66	37,41	17,0523	7,0	6,0	30
	95	115,326	2,67	93,91	10,66	47,32	21,5996			
	115	126,890	3,91	113,08	15,56	57,18	26,1469			
150	75	106,067	1,56	74,53	6,22	37,42	15,9155	7,0	6,0	30
	95	119,373	2,50	94,05	9,96	47,34	20,1596			
	115	131,340	3,65	113,32	14,54	57,22	24,4038			
160	75	109,545	1,46	74,59	5,84	37,43	14,9208	6,5	6,0	25
	95	123,289	2,34	94,17	9,34	47,36	18,8996			
	115	135,647	3,43	113,52	13,63	57,25	22,0785			

R, în m	L, în m	A, în m	ΔR, în m	x, în m	y, în m	x', în m	τ, în g	i, în %	d, în %	e, în cm
170	75	112,916	1,38	74,64	5,50	37,44	14,0431	6,5	6,1	25
	95	127,083	2,21	94,26	8,80	47,38	17,7879			
	115	139,821	3,23	113,69	12,86	57,28	21,5327			
180	75	116,190	1,30	74,68	5,19	37,45	13,2629	6,0	6,1	25
	95	130,768	2,08	94,34	8,32	47,39	16,7997			
	115	143,875	3,05	113,83	12,16	57,31	20,3365			
190	75	119,373	1,23	74,71	4,92	37,45	12,5649	6,0	6,1	25
	95	134,350	1,97	94,41	7,88	47,40	15,9155			
	115	147,818	2,89	113,95	11,53	57,32	19,2661			
200	75	122,474	1,17	74,74	4,68	37,46	11,9366	5,5	6,1	25
	95	137,841	1,88	94,47	7,49	47,41	15,1197			
	115	151,658	2,75	114,05	10,96	57,34	18,3028			
225	75	129,904	1,04	74,79	4,16	37,47	10,6103	5,5	6,2	25
	95	146,202	1,67	94,58	6,66	47,43	13,4398			
	115	160,857	2,44	114.25	9,75	57,38	16,2692			
250	75	136,931	0,94	74,83	3,74	37,47	9,5493	4,5	6,2	-
	95	154,110	1,50	94,66	6,00	47,44	12,0958			
	115	169,558	2,20	114,39	8,78	57,40	14,6423			
275	75	143,614	0,85	74,86	3,40	37,48	8,6812	4,0	6,2	-
	95	161,632	1,37	94,72	5,46	47,45	10,9962			
	115	177,834	2,00	114,50	7,99	57,42	13,3111			

R, în m	L, în m	A, în m	ΔR, în m	x, în m	y, în m	x', în m	τ, în g	i, în %	d, în %	e, în cm
300	75	150,000	0,78	74,88	3,12	37,48	7,9577	3,5	6,3	-
	95	168,820	1,25	94,76	5,00	47,46	10,0798			
	115	185,742	1,83	114,58	7,35	57,43	12,2019			
325	75	156,125	0,72	74,90	2,88	37,48	7,3456	3,0	6,5	-
	95	175,713	1,16	74,90	2,88	37,48	7,3456			
	115	193,326	1,69	114,64	6,77	57,44	11,2633			
350	75	162,019	0,67	74,91	2,68	37,49	6,8209	2,5	6,5	-
	95	182,346	1,07	94,83	4,29	47,47	8,6398			
	115	200,624	1,57	114,69	6,29	57,45	10,4588			
375	75	167,705	0,62	74,93	2,50	37,49	6,3662	2(2,5)*	6,5	-
	95	188,746	1,00	94,85	4,01	47,47	8,0639			
	115	207,666	1,47	114,73	5,87	57,45	9,7615			
380	75	168,819	0,62	74,93	2,47	37,49	6,2824	2(2,5)*	6,5	-
	95	190,000	0,99	94,85	3,95	47,48	7,9577			
	115	209,046	1,45	114,74	5,79	57,46	9,6331			
	-	-	-	-	-	-	-	2(2,5)*	6,5	-
V = 50 km/h										
85	55	68,3740	1,48	54,43	5,89	27,40	20,5965	7,0	6,1	50
	70	77,1362	2,39	68,82	9,49	34,80	26,2138			
	80	82,4621	3,11	78,25	12,35	39,71	29,9586			
	95	89,8610	4,37	92,08	17,31	4,01	35,5758			

R, în m	L, în m	A, în m	ΔR, în m	x, în m	y, în m	x', în m	τ, în g	i, în %	d, în %	e, în cm
140	55	87,7496	0,90	54,79	3,59	27,46	12,5050	6,0	6,5	30
	70	98,9949	1,46	69,56	5,81	34,93	15,9155			
	80	105,830	1,90	79,35	7,57	39,89	18,91			
	95	115,326	2,67	93,91	10,66	47,32	21,5996			
150	55	90,8295	0,84	54,82	3,35	27,47	11,6714	5,5	6,5	30
	70	102,470	1,36	69,62	5,42	34,94	14,8445			
	80	109,544	1,77	79,43	7,08	39,91	16,9765			
	95	119,373	2,50	94,05	9,96	47,34	20,1596			
160	55	93,8083	0,79	54,84	3,14	27,47	10,9419	5,0	6,5	25
	70	105,830	1,27	69,67	5,09	34,94	13,9261			
	80	113,137	1,66	79,50	6,64	39,92	15,9155			
	95	123,288	2,34	94,17	9,34	47,86	18,8996			
170	55	96,6954	0,74	54,86	2,96	27,48	10,2983	5,0	6,6/6,6	25
	70	109,087	1,20	69,70	4,79	34,95	13,1069			
	80	116,620	1,57	79,56	6,25	39,93	14,9793			
	95	127,082	2,21	94,26	8,80	47,38	17,7879			
180	55	99,4987	0,70	54,87	2,80	27,48	9,7261	4,5	6,6/6,6	25
	70	112,250	1,13	69,74	4,52	34,96	12,3787			
	80	120,000	1,48	79,61	5,91	39,93	14,1471			
	95	130,767	2,08	94,34	8,32	47,39	16,7997			
190	55	102,225	0,66	54,88	2,65	27,48	9,2142	4,0	6,6/6,6	25
	70	115,326	1,07	69,76	4,29	34,96	11,7272			
	80	123,288	1,40	79,65	5,60	39,94	13,4025			
	95	134,350	1,97	94,41	7,88	47,40	15,9155			

R, în m	L, în m	A, în m	ΔR, în m	x, în m	y, în m	x', în m	τ, în g	i, în %	d, în %	e, în cm
200	55	104,881	0,63	54,90	2,52	27,48	8,7535	4,0	6,6/6,6	25
	70	118,322	1,62	69,79	4,07	34,96	11,1408			
	80	126,491	1,33	79,68	5,32	39,95	12,7324			
	95	137,841	1,88	94,47	7,49	47,41	15,1197			
225	55	111,243	0,56	54,92	2,24	27,49	7,7809	3,0	6,7/6,7	25
	70	125,499	0,91	69,83	3,62	34,97	9,9030			
	80	134,164	1,18	79,75	4,73	39,96	11,3177			
	95	146,202	1,67	94,58	6,66	47,43	13,4398			
250	55	117,260	0,50	54,93	2,01	27,49	7,0028	2,5	6,7/6,7	-
	70	132,288	0,82	69,86	3,26	34,98	8,9127			
	80	141,421	1,07	70,80	4,26	39,97	10,1859			
	95	154,110	1,50	94,66	6,00	47,44	12,0958			
270	55	121,861	0,47	54,94	1,87	27,49	6,4841	2(2,5)*	6,7/6,7	-
	70	137,477	0,76	69,88	3,02	34,98	8,2525			
	80	146,969	0,99	79,82	4,94	39,97	9,4314			
	95	160,156	1,39	94,71	5,56	47,45	11,1998			
300	-	-	-	-	-	-	-	2(2,5)*	6,8/6,8	-
300	-	-	-	-	-	-	-	2(2,5)*	7,0/7,0	-
V = 40 km/h										
55	40	46,9042	1,21	39,47	4,80	19,91	23,1498	7,0	5,6/6,2	75
	45	49,799	1,52	44,25	6,06	22,38	26,0435			
	50	52,4404	1,884	48,98	7,46	24,83	28,9373			
	55	55,0000	2,27	53,64	9,00	27,27	31,8310			
	60	57,4456	2,70	58,24	10,68	29,71	34,7247			

R, în m	L, în m	A, în m	ΔR, în m	x, în m	y, în m	x', în m	τ, în g	i, în %	d, în %	e, în cm
55	65	59,7913	3,16	62,77	12,49	32,13	37,6184	7,0	5,6/6,2	75
	70	62,0884	3,66	67,22	14,42	34,53	40,5122			
60	40	48,9898	1,11	39,56	4,41	19,93	21,2207	7,0	5,7/6,4	70
	45	51,9615	1,40	44,37	5,57	22,39	23,8732			
	50	54,7723	1,73	49,14	6,86	24,86	26,5258			
	55	57,4456	2,08	53,86	8,28	27,31	29,1784			
	60	60,0000	2,48	58,52	9,82	29,75	31,8310			
	65	62,4500	2,90	63,12	11,49	31,18	34,4336			
	70	64,8074	3,36	67,66	13,28	34,61	37,1362			
70	40	52,9150	0,95	39,67	3,79	19,95	18,1891	7,0	5,9/6,6	60
	45	56,1249	1,20	44,54	4,79	22,42	20,4628			
	50	59,1608	1,48	49,37	5,90	24,89	22,7364			
	55	62,0484	1,79	54,16	7,12	27,36	25,0101			
	60	64,8074	2,13	58,91	8,46	29,82	27,2837			
	65	67,4537	2,50	63,61	9,91	32,27	29,5573			
	70	70,0000	2,89	68,27	11,46	34,71	31,8310			
80	40	56,5685	0,83	39,75	3,32	19,96	15,9155	6,0	6,1/6,8	55
	45	60,0000	1,05	44,65	4,19	22,44	17,9049			
	50	63,2456	1,30	49,51	5,17	24,92	19,8944			
	55	66,3325	1,57	54,35	6,25	27,39	21,8838			
	60	69,2820	1,87	59,16	7,42	29,86	23,8732			
	65	72,1110	2,19	63,94	8,70	32,32	25,8627			
	70	74,8331	2,53	68,67	10,07	34,78	27,8521			

R, în m	L, în m	A, în m	ΔR, în m	x, în m	y, în m	x', în m	τ, în g	i, în %	d, în %	e, în cm
90	40	60,0000	0,74	39,80	2,95	19,97	14,1471	5,5	6,2/7,0	50
	45	63,6396	0,94	44,72	3,73	22,45	15,9155			
	50	67,0820	1,15	49,62	4,60	24,94	17,6839			
	55	70,3562	1,40	54,49	5,56	27,41	19,4523			
	60	73,4847	1,66	59,34	6,61	29,89	21,2207			
	65	76,4853	1,95	64,16	7,75	32,36	22,9890			
	70	79,3725	2,26	68,95	8,98	34,82	24,7574			
100	40	63,2456	0,67	39,84	2,66	19,97	12,7324	4,5	6,2/7,0	40
	45	67,0820	0,84	44,77	3,36	22,46	14,3239			
	50	70,7107	1,04	49,69	4,15	24,95	15,9155			
	55	74,1620	1,26	54,59	5,01	27,43	17,5070			
	60	77,4597	1,50	59,46	5,96	29,91	19,0986			
	65	80,6226	1,75	64,32	6,99	32,39	20,6901			
	70	83,6660	2,03	69,15	8,10	34,86	22,2817			
110	40	66,3325	0,61	39,87	2,42	19,98	11,5749	4,0	6,3/7,1	35
	45	70,3562	0,77	44,81	3,06	22,47	13,0218			
	50	74,1620	0,95	49,74	3,77	24,96	14,4686			
	55	77,7817	1,14	54,66	4,56	27,44	15,9155			
	60	81,2404	1,36	59,56	5,43	29,93	17,3624			
	65	84,5577	1,60	64,43	6,36	32,41	18,8092			
	70	87,7496	1,85	69,29	7,37	34,88	20,2561			
120	40	69,2820	0,56	39,89	2,22	19,98	10,6103	3,5	6,4/7,2	30
	45	73,4847	0,70	44,84	2,81	22,47	11,9366			
	50	77,4597	0,87	49,78	3,46	24,96	13,2629			

R, în m	L, în m	A, în m	ΔR, în m	x, în m	y, în m	x', în m	τ, în g	i, în %	d, în %	e, în cm
120	55	81,2404	1,05	54,71	4,19	27,45	14,5892	3,5	6,4/7,2	30
	60	84,8528	1,25	59,63	4,98	29,94	15,9155			
	65	88,3176	1,46	64,52	5,84	32,42	17,2418			
	70	91,6515	1,70	69,41	6,76	34,90	18,5681			
130	40	72,1110	0,51	39,91	2,05	19,98	9,7942	3,0	6,4/7,3	30
	45	76,4853	0,65	44,87	2,59	22,48	11,0184			
	50	80,6226	0,80	49,82	3,20	24,97	12,2427			
	55	84,5577	0,97	54,75	3,87	27,46	13,4670			
	60	88,3176	1,15	59,68	4,60	29,95	14,6912			
	65	91,9239	1,35	64,59	5,39	32,43	15,9155			
	70	95,3939	1,57	69,49	6,25	34,92	17,1398			
140	40	74,8331	0,48	39,92	1,90	19,99	9,0946	5,0	6,5/7,4	30
	45	79,3725	0,60	44,88	2,41	22,48	10,2314			
	50	83,6660	0,74	49,84	2,97	24,97	11,3682			
	55	87,7496	0,90	54,79	3,59	27,46	12,5050			
	60	91,6515	1,07	59,73	4,27	29,95	13,6419			
	65	95,3939	1,26	64,65	5,01	32,44	14,7787			
	70	98,9949	1,46	69,56	5,81	34,93	15,9155			
150	40	77,4597	0,44	39,93	1,78	19,99	8,4883	2,5	6,5/7,4	30
	45	82,1584	0,56	44,90	2,25	22,48	9,5493			
	50	86,6025	0,69	49,86	2,77	24,98	10,6103			
	55	90,8295	0,84	54,82	3,35	24,47	11,6714			
	60	94,8683	1,00	59,76	3,99	29,96	12,7324			
	65	98,7421	1,17	64,70	4,68	32,45	13,7934			
	70	102,470	1,36	69,62	5,42	34,94	14,8545			

R, în m	L, în m	A, în m	ΔR, în m	x, în m	y, în m	x', în m	τ, în g	i, în %	d, în %	e, în cm
160	40	80,0000	0,42	39,94	1,66	19,99	7,9577	2,5	6,6/7,5	25
	45	84,8528	0,53	44,91	2,11	22,49	8,9525			
	50	89,4427	0,65	49,88	2,60	24,98	9,9472			
	55	93,8083	0,79	54,84	3,14	27,47	10,9419			
	60	97,9796	0,94	59,79	3,74	29,96	11,9366			
	65	101,980	1,10	64,73	4,39	32,46	12,9313			
	70	105,830	1,27	69,67	5,09	34,94	13,9261			
170	40	82,4621	0,39	39,94	1,57	19,99	7,4896	2(2,5)*	6,6/7,5	25
	45	87,4643	0,50	44,92	1,98	22,49	8,4258			
	50	92,1954	0,61	4989	2,45	24,98	9,3621			
	55	96,6954	0,74	54,86	2,96	27,48	10,2983			
	60	100,995	0,88	59,81	3,52	29,97	11,2345			
	65	105,119	1,03	64,76	4,13	32,46	12.1707			
	70	109,087	1,20	69,70	4,79	34,95	13,1069			
200								2(2,5)*	6,6/7,6	25
225								2(2,5)*	6,6/7,6	25
250								2(2,5)*	6,7/7,7	25
300								2(2,5)*	6,8/7,8	
300								2(2,5)*	7,0/8,0	-
Viteza 30 km/h										
32	30	30,9839	1,16	29,35	4,61	14,89	29,8416	7,0	5,1/5,7	130/185
	35	33,4664	1,58	33,97	6,25	17,33	34,8151			
	40	35,7771	2,05	38,47	8,10	19,74	39,7887			
	45	37,9473	2,59	42,83	10,18	22,13	44,7623			

R, în m	L, în m	A, în m	ΔR, în m	x, în m	y, în m	x', în m	τ, în ^{g}	i, în %	d, în %	e, în cm
33	30	31,4643	1,13	29,39	4,48	14,90	28,9373	7,0	5,2/5,8	125/185
	35	33,9853	1,53	34,03	6,06	17,34	33,7601			
	40	36,3318	1,99	38,56	7,87	19,76	38,5830			
	45	38,5357	2,51	42,95	9,89	22,16	43,4059			
34	30	31,9374	1,10	29,42	4,35	14,90	28,0862	7,0	5,3/5,9	120/180
	35	34,4964	1,49	34,08	5,89	17,35	32,7672			
	40	36,8782	1,94	38,64	7,65	19,77	37,4482			
	45	39,1152	2,44	43,97	9,62	22,18	42,1292			
35	30	32,4037	1,06	29,45	4,23	14,91	27,2837	7,0	5,3	115/170
	35	35,0000	1,45	34,14	5,73	17,36	31,8310			
	40	37,4166	1,88	38,71	7,44	19,78	36,3783			
	45	39,6863	2,38	43,18	9,36	22,19	40,9256			
40	30	34,6410	0,93	29,58	3,71	14,93	23,8732	6,5	5,6/6,3	100/150
	35	37,4166	1,27	34,34	5,03	17,39	27,8521			
	40	40,0000	1,65	39,01	6,55	19,83	31,8310			
	45	42,4264	2,09	43,60	8,25	22,26	35,8099			
45	30	36,7423	0,83	29,67	3,31	14,94	21,2207	6,0	5,8/6,5	90/135
	35	39,6863	1,13	34,47	4,49	17,41	24,7574			
	40	42,4264	1,47	39,22	5,84	19,87	28,2942			
	45	45,0000	1,86	43,89	7,37	22,31	31,8310			
50	30	38,7298	0,75	29,73	2,98	14,96	19,0986	5,0	6,0/6,7	80/120
	35	41,8330	1,02	34,57	4,05	17,43	22,2817			
	40	44,7214	1,33	39,36	5,27	19,89	25,4648			
	45	47,4342	1,68	44,10	6,65	22,35	28,6479			

R, în m	L, în m	A, în m	ΔR, în m	x, în m	y, în m	x', în m	τ, în g	i, în %	d, în %	e, în cm
55	30	40,6202	0,68	29,78	2,71	14,96	17,3624	5,0	6,1/6,9	75/75
	35	43,8748	0,92	34,65	3,65	17,44	20,2561			
	40	46,9042	1,21	39,47	4,80	19,19	23,1498			
	45	49,7494	1,52	44,25	6,06	22,38	26,0435			
60	30	42,4264	0,62	29,81	2,49	14,97	15,9155	4,5	6,2/7,0	70/70
	35	45,8258	0,85	34,70	3,38	17,45	18,5681			
	40	48,9898	1,11	39,56	4,41	19,93	21,2207			
	45	51,9615	1,40	44,37	5,57	22,39	23,8732			
65	30	44,1588	0,58	29,84	2,30	14,97	14,6912			
	35	47,6970	0,78	34,75	3,12	17,46	17,1398			
	40	50,9902	1,02	39,62	4,07	19,94	19,5883			
	45	54,0833	1,29	44,46	5,15	22,41	22,0368			
70	30	45,8258	0,53	29,86	2,14	14,98	13,6419	3,5	6,4/7,2	60/60
	35	49,4975	0,73	34,78	2,90	17,46	15,9155			
	40	52,9150	0,95	39,67	3,79	19,95	18,1891			
	45	56,1249	1,20	44,54	4,79	22,42	20,4628			
75	30	47,4342	0,50	29,88	1,99	14,98	12,7324	3,0	6,5/7,4	60/60
	35	51,2348	0,68	34,81	2,71	17,47	14,8545			
	40	54,7723	0,89	39,72	3,54	19,95	16,9765			
	45	58,0948	1,12	44,60	4,47	22,43	19,0986			
80	30	48,9898	0,47	29,89	1,87	14,98	11,9366	3,0	6,6/7,5	55/55
	35	52,9150	0,64	34,83	2,54	17,47	13,9261			
	40	56,5685	0,83	39,75	3,32	19,96	15,9155			
	45	60,0000	1,05	44,65	4,19	22,44	17,9049			

R, în m	L, în m	A, în m	ΔR, în m	x, în m	y, în m	x', în m	τ, în g	i, în %	d, în %	e, în cm
85	30	50,4975	0,44	29,91	1,76	14,90	11,2345	2,5	6,6/7,5	50/50
	35	54,5436	0,60	34,85	2,39	17,48	13,1069			
	40	58,4095	0,78	39,78	3,12	19,96	14,9793			
	45	61,8466	0,99	44,69	3,95	22,45	16,8517			
90	30	51,9615	0,42	29,92	1,66	14,99	10,6103	2(2,5)*	6,7/7,6	50/50
	35	56,1249	0,57	34,87	2,26	17,48	12,3787			
	40	60,0000	0,74	39,80	2,95	19,97	14,1471			
	45	63,6396	0,94	44,72	3,73	22,45	15,9155			
100	-	-	-	-	-	-	-	2(2,5)*	6,7/7,6	40/40
150	-	-	-	-	-	-	-	2(2,5)*	7,0/8,0	30/30
200... 225	-	-	-	-	-	-	-	2(2,5)*	7,1/8,1	25/25
250	-	-	-	-	-	-	-	2(2,5)*	7,2/8,2	-
300	-	-	-	-	-	-	-	2(2,5)*	7,3/8,3	-
300	-	-	-	-	-	-	-	2(2,5)*	7,5/8,5	-

NOTĂ

* potrivit deverului din aliniament

d este declivitatea maximă (excepțională) admisă pe lungimea fiecărei curbe, în %.